Environment Canada
Service de la protection de l'environnement

Environment Canada
Environmental Protection Service

Techniques de base de l'industrie des pâtes et papiers, et ses pratiques de protection environnementale

Guide de formation

5-0154/

LES RAPPORTS DU SERVICE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Les guides de formation sont essentiellement utilisés à des fins de formation professionnelle.

Le Service publie nombre d'autres rapports dans les collections suivantes : Règlements, codes et méthodes d'analyse, Politique et planification, Analyse économique et technique, Développement des techniques, Surveillance, Exposés et mémoires soumis à des enquêtes publiques et Évaluation des incidences sur l'environnement.

Pour tout renseignement, prière de s'adresser au Service de la protection de l'environnement, ministère de l'Environnement, Hull (Québec), Canada, K1A 1C8.

ENVIRONMENTAL PROTECTION SERVICE REPORT SERIES

Training Manuals present information that is used primarily for training purposes.

Other categories in the EPS series include such groups as Regulations, Codes, and Protocols; Policy and Planning; Economic and Technical Review; Technology Development; Surveillance; Briefs and Submissions to Public Inquiries; and Environmental Impact and Assessment.

Inquiries pertaining to Environmental Protection Service Reports should be directed to the Environmental Protection Service, Department of the Environment, Hull, Quebec, Canada, K1A 1C8.

TECHNIQUES DE BASE DE L'INDUSTRIE DES PÂTES ET PAPIERS, ET SES PRATIQUES DE PROTECTION ENVIRONNEMENTALE

par
Neil McCubbin, ing.

Direction générale des programmes
de protection de l'environnement

Service de la protection de l'environnement
Environnement Canada

SPE 6-EP-83-1F
Mars 1984

Publication distribuée
par le Service de la protection de l'environnement
Ministère de l'Environnement
Hull
K1A 1C8

Édition française
de The Basic Technology of the Pulp and Paper Industry and its Environmental Protection Practices
préparée par le Module d'édition française
Ministère de l'Environnement

Imprimé par le ministère des Approvisionnements et Services
N° de catalogue: En 48-6/83-1F
ISBN 0-662-92564-5

©
Ministre des Approvisionnements et Services
1983

AVIS

Le présent guide a été examiné par la Direction générale des programmes de protection de l'environnement du Service de la protection de l'environnement, et sa publication a été approuvée. Cette approbation ne signifie pas nécessairement que son contenu reflète les vues et politiques du Service de la protection de l'environnement. Toute mention de marque de commerce ou de produits commerciaux ne constitue en aucune façon une recommandation ou une approbation de leur utilisation.

RÉSUMÉ

Les techniques de fabrication des pâtes et papiers utilisées au Canada sont décrites, et une attention particulière est accordée à la protection de l'environnement. L'histoire et l'envergure de l'industrie des pâtes et papiers sont esquissées brièvement; de plus, tous les principaux procédés de fabrication ainsi que l'équipement utilisé sont décrits. Les sources des émissions atmosphériques, des effluents et des déchets solides sont identifiées; par ailleurs, le document contient des données typiques concernant les principales unités de traitement.

Les dispositions appliquées en usine en vue de réduire les incidences de la fabrication des pâtes et papiers sur l'environnement sont intégrées aux descriptions des procédés. Les systèmes externes de traitement des effluents et les dispositifs de lutte contre la pollution atmosphérique utilisés dans l'industrie sont passés en revue; en outre, des données sur le rendement et les coûts typiques sont présentées.

Finalement, le document contient une courte bibliographie et un vaste glossaire de l'industrie des pâtes et papiers.

ABSTRACT

The technology of pulp and paper manufacture in Canada is described with particular reference to environmental protection aspects. The history and scale of the pulp and paper industry are outlined briefly, and all major manufacturing processes and equipment described. The sources of atmospheric emissions, effluent discharges and solid wastes are identified and typical data reported for the principal process units.

In-plant measures used to reduce the impact of pulp and paper manufacture on the environment are incorporated in the process descriptions. The external effluent treatment systems and air pollution control equipment employed in the industry are reviewed, and typical cost and performance data presented.

A short bibliography and an extensive glossary of pulp and paper industry terminology are included.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ		IV
ABSTRACT		V
LISTE DES FIGURES		XI
LISTE DES TABLEAUX		XIV
REMERCIEMENTS		XVI
1	INTRODUCTION	1
2	SURVOL DE L'INDUSTRIE DES PÂTES ET PAPIERS	2
2.1	Importance dans l'économie canadienne	2
2.2	Situation générale de la lutte contre la pollution	5
2.3	Règlements pour la protection du milieu	5
2.3.1	Régions d'effluents	5
2.3.2	Émissions atmosphériques	5
2.3.3	Élimination des déchets solides	7
2.3.4	Produits chimiques dangereux	7
2.4	Principaux procédés de production des pâtes et papiers	8
2.4.1	Généralités	8
2.4.2	Préparation du bois	8
2.4.3	Réduction du bois en pâte et blanchiment	9
2.4.4	Principaux produits finis	10
2.4.5	Sources d'effluents et d'émissions atmosphériques	10
3	HISTORIQUE	15
4	PRÉPARATION DU BOIS	19
4.1	Alimentation en bois	19
4.2	Manutention du bois	20
4.3	Écorçage	22
4.4	Déchiquetage	24
4.5	Rejets d'effluents	25
4.6	Élimination de l'écorce et des déchets de bois	26
4.7	Émissions atmosphériques	27
5	DÉFIBRAGE	28
5.1	Défibrage mécanique	29
5.1.1	Pâte mécanique à la meule et pâte mécanique sous pression	29
5.1.2	Pâte mécanique de raffineur	31
5.1.3	Pâte thermomécanique	33
5.1.4	Pâte chimico-thermomécanique	34
5.1.5	Effluents	36
5.1.6	Émissions atmosphériques et rejets de matières solides	38
5.2	Défibrage chimique (généralités)	38
5.3	Préparation de la pâte kraft	40

5.3.1	Description du procédé	41
5.3.2	Lavage de la pâte brune	45
5.3.3	Production de térébenthine	54
5.3.4	Effluents	56
5.3.5	Émissions atmosphériques	56
5.3.6	Déchets solides	57
5.4	Préparation de la pâte au sulfite	58
5.4.1	Procédé de base au sulfite	58
5.4.2	Préparation de la pâte au sulfite à haut rendement	60
5.4.3	Composition de la liqueur au sulfite épuisée	61
5.4.4	Effluents	62
5.4.5	Sources d'émissions atmosphériques et dépollution	63
5.5	Défibrage mi-chimique	64
5.5.1	Procédé mi-chimique au sulfite neutre	65
5.5.2	Préparation mi-chimique de la pâte kraft	67
5.5.3	Effluents	67
5.5.4	Émissions atmosphériques	68
6	CLASSAGE ET ÉPURATION DE LA PÂTE	69
6.1	Classage sur tamis à grosses mailles	69
6.2	Classage sur tamis à mailles fines	70
6.3	Épuration	71
6.4	Épaississement	74
6.5	Lavage dans l'atelier de tamisage	76
6.6	Effluents et déchets solides	77
6.7	Émissions atmosphériques	78
7	BLANCHIMENT	79
7.1	Mesurage du degré de blancheur	79
7.2	Blanchiment de la pâte mécanique	80
7.3	Blanchiment de la pâte chimique	82
7.3.1	Blanchiment classique	82
7.3.2	Effluents des usines classiques de blanchiment	84
7.3.3	Variations des processus de blanchiment classique	86
7.3.4	Blanchiment par déplacement	87
7.3.5	Blanchiment par l'oxygène	87
7.3.6	Processus Papribleach	87
7.3.7	Blanchiment en cycle fermé	88
7.3.8	Émissions atmosphériques	89
8	PRÉPARATION DE LA PÂTE	90
8.1	Composition	90
8.2	Raffinage de la pâte	91
8.3	Additifs	94
8.4	Tamisage et épuration	94
8.5	Désencrage	95
8.6	Effluents	95
8.7	Émissions atmosphériques et déchets solides	96
9	MACHINES À PAPIER ET SÉCHEURS DE PÂTE	97
9.1	Machine fourdrinier	97

9.2	Machines à papier à deux toiles	100
9.3	Machines à forme ronde	102
9.4	Séchage de la pâte	102
9.5	Pompes à vide	103
9.6	Effluents	103
9.7	Émissions atmosphériques	105
9.8	Déchets solides	105
10	FINISSAGE ET CONVERSION	106
11	RÉCUPÉRATION CHIMIQUE	107
11.1	Récupération chimique pour la pâte kraft	107
11.1.1	Description du processus	107
11.1.2	Évaporateurs	111
11.1.3	Récupération du savon	112
11.1.4	Oxydation de la liqueur noire	114
11.1.5	Évaporateurs à contact direct	115
11.1.6	Chaudières de récupération	115
11.1.7	Réservoirs de dissolution du salin	120
11.1.8	Extincteurs et caustificateurs	120
11.1.9	Production de lessive blanche	120
11.1.10	Fours à chaux	121
11.1.11	Effluents	122
11.1.12	Émissions atmosphériques	122
11.1.13	Déchets solides	122
11.2	Récupération du sulfite utilisé dans le procédé	123
11.2.1	Concentration de la liqueur diluée	124
11.2.2	Combustion de la liqueur et chaudières de récupération	124
11.2.3	Sources d'émissions diverses	127
11.2.4	Effluents	128
11.3	Récupération chimique dans la fabrication par des procédés mi-chimiques	128
12	PRODUCTION DE VAPEUR ET D'ÉNERGIE	130
12.1	Introduction	130
12.2	Installation de production de vapeur	131
12.3	Chaudière énergétique	131
12.4	Production d'énergie	134
12.5	Émissions des chaudières et déchets solides	135
12.6	Appareils de contrôle des émissions particulaires	136
12.6.1	Émissions particulaires	136
12.6.2	Émissions gazeuses	137
12.7	Effluents	138
13	MÉTHODES DE TRAITEMENT DES EAUX USÉES	140
13.1	Traitement des effluents	140
13.1.1	Résumé des caractéristiques des effluents des usines	141
13.1.2	Prétraitement	141
13.1.3	Traitement primaire	144
13.1.4	Traitement secondaire	146
13.1.5	Traitement tertiaire	151

13.1.6	Décharge et évacuation de l'effluent traité	152
13.1.7	Méthodes d'échantillonnage, de surveillance et d'analyse	152
13.1.8	Coûts de traitement de l'effluent	153
13.2	Contrôle des émissions atmosphériques	153
13.2.1	Règlements sur les émissions atmosphériques	154
13.2.2	Sources et contrôle des émissions atmosphériques	154
13.2.3	Surveillance et analyse	158
13.2.4	Réduction des odeurs et dispersion des polluants atmosphériques	159
13.3	Traitement et évacuation des déchets solides	159
13.3.1	Sources des déchets solides	159
13.3.2	Méthodes d'évacuation	160
14	QUESTIONS PARTICULIÈRES	162
14.1	Contrôle interne par rapport au traitement externe	162
14.1.1	Sources de l'effluent	163
14.1.2	Facteurs humains	163
14.1.3	Recyclage et réutilisation de l'effluent	164
14.1.4	Mesures de protection environnementale dans l'usine	165
14.2	Contrôle des pertes accidentelles	166
14.2.1	Sources	166
14.2.2	Plan en vue de la réduction des pertes accidentelles	167
14.2.3	Stockage des produits intermédiaires et des produits chimiques	169
14.2.4	Méthodes d'exploitation et d'entretien	171
14.3	Traitement des condensats contaminés	172
14.3.1	Propriétés du condensat	172
14.3.2	Séparation du condensat	173
14.3.3	Procédés de traitement	174
14.4	Élimination des gaz non condensables dans les usines de kraft	178
14.5	Usine de pâte kraft blanchie en cycle fermé Rapson-Reeve	180
14.6	Importance de la demande du chimique en oxygène	183
14.7	Autres utilisations de liqueur au sulfite résiduelle	183
ANNEXE A	SYMBOLES ET NOMS CHIMIQUES	187
ANNEXE B	BIBLIOGRAPHIE	191
ANNEXE C	CHIMIE DU BOIS	195
ANNEXE D	GLOSSAIRE DE L'INDUSTRIE DES PÂTES ET PAPIERS	211

LISTE DES FIGURES

1	Production canadienne de pâte entre 1920 et 1981	4
2	Comparaison entre la production de pâte, la DBO et les rejets de matières solides en suspension (1969-1981)	6
3	Schéma des procédés de base de fabrication des pâtes et papiers	11
4	La préparation du bois	21
5	Schéma d'un tambour écorceur à l'eau	22
6	Système typique de récupération avec tambours écorceurs à eau	23
7	Défibreur à magasin	31
8	Procédé classique de défibrage mécanique	32
9	Raffineur à deux disques	33
10	Procédé thermo-mécanique classique	35
11	Conditions chimiques gouvernant les principaux procédés de réduction du bois en pâte chimique	39
12	Caractère cyclique du procédé de pâte kraft et récupération des produits chimiques	42
13	Lessiveur de type Kamyr à fonctionnement continu	43
14	Circuit typique d'un lessiveur en discontinu	45
15	Pertes exprimées en DBO, en fonction de l'indice de dilution dans un système de lavage de la pâte kraft	49
16	Système classique de lavage de la pâte brune (type à tambour)	50
17	Diffuseur à deux stades pour la pâte brune	53
18	Unité de récupération par lots de la térébenthine	55
19	Procédé de préparation de la pâte au sulfite	59
20	Système de réduction en pâte mi-chimique	66
21	Tamis sous pression	71
22	Système de tamisage et d'épuration de la pâte chimique	72

23	Épurateur centrifuge (Bauer)	73
24	Filtre à vide à tambour	75
25	Diagramme de fonctionnement d'un atelier de blanchiment en cinq étapes (CEDED)	83
26	Système en continu de préparation de la pâte	92
27	Raffineur à double disque (représentation simplifiée)	93
28	Machine à papier fourdrinier	98
29	Machine à deux toiles (Papriformer)	101
30	Schéma simplifié du processus de réduction de bois pâte kraft	109
31	Diagramme de l'évaporation de la liqueur noire et de la récupération des savons	113
32	Zones de la chaudière de récupération chimique	116
33	Chaudière de récupération à faible odeur	119
34	Diagramme d'un système de récupération à base de magnésium	126
35	Chaudière énergétique alimentée aux déchets de bois	133
36	Système typique de traitement de l'effluent	142
37	Système de neutralisation des eaux usées d'une usine de kraft	145
38	Schéma de déroulement d'un procédé aux boues activées	151
39	Schéma de l'extraction à la vapeur	176
40	Schéma de l'extraction à l'air	177
41	Schéma du fonctionnement d'une usine de kraft sans effluent	181
C-1	Bloc de bois en coupe	198
C-2	Trachéïdes de bois initial et final	199
C-3	Éléments typiques de fibres et de vaisseaux de feuillus	200
C-4	Schéma de la structure d'une fibre de bois	201
C-5	Composés chimiques du bois	204
C-6	Structure microscopique et ultra-microscopique de la cellulose	205

C-7	Structure des xylanes	206
C-8	Structure des glucomannanes	206
C-9	Monomère de phényl-propane	208
C-10	Essai de définition des caractères structuraux d'un segment d'une molécule de lignine	208
C-11	Réaction de la lignine à la sulfonation	209
C-12	Hydrolyse acide ou alcaline	209
C-13	Sulfitage et hydrolyse alcaline de la lignine	209

LISTE DES TABLEAUX

1	Production et exportations canadiennes en 1981	1
2	Destination des exportations canadiennes des produits de pâtes et papiers en 1981	3
3	Rendement typique des procédés de défibrage	29
4	Caractéristiques courantes de la pâte à papier journal et de l'effluent	30
5	Analyse de la liqueur noire type	44
6	Définitions normalisées dans l'industrie de la pâte kraft	46
7	Analyse de la lessive au sulfite	60
8	Sous-produits d'une cuisson typique au sulfite	61
9	Caractéristiques des liqueurs résiduelles au sulfite	63
10	Processus de blanchiment pour les pâtes mécaniques	81
11	Caractéristiques ordinaires de l'effluent des usines de pâte kraft blanchie	85
12	Émissions atmosphériques des usines de blanchiment	88
13	Massiques et flux énergétiques types d'une usine produisant 750 t/d de pâte kraft chimique blanchie, séchée à l'air	110
14	Besoin total de vapeur pour le processus de mise en pâte	132
15	Déchets solides provenant des chaudières énergétiques alimentées aux déchets de bois	137
16	Coûts et rendement des appareils de contrôle des émissions particulaires	138
17	Caractéristiques typiques des effluents des usines de pâtes et papiers	143
18	Coût en capital des systèmes de traitement de l'effluent	154
19	Directives du gouvernement fédéral relatives aux émissions atmosphériques des nouvelles usines	155
20	Directives et règlements provinciaux et étrangers pour les émissions atmosphériques	156
21	Émissions de matières particulaires, STR et SO_2 des usines de kraft	157
22	Émissions des usines de kraft provenant des sources de "STR" seulement	158

23	Systèmes de récupération des pertes accidentelles	169
24	Composés des condenseurs contaminés séparés	174
C-1	Éléments chimiques du bois	203
C-2	Principaux polymères des hydrates de carbone de l'hémicellulose des bois durs et des bois tendres	207

REMERCIEMENTS

Plusieurs personnes, qui ne sont pas à l'emploi de N. McCubbin Consultants Inc., ont apporté une contribution importante à notre projet.

Nous tenons à remercier plus particulièrement M. John Betts d'Environnement Canada pour son aide et l'intérêt qu'il a manifesté. MM. Gautam Das, Trevor Ruthman et R. Benjamin ont fait la relecture critique de la première version du présent rapport et leurs commentaires nous ont été utiles.

Nous tenons également à remercier les fabricants qui nous ont fourni des informations utiles et qui nous ont permis d'utiliser leurs illustrations. Leur nom est mentionné sous chaque illustration.

1 INTRODUCTION

Ce manuel de formation vise à mieux faire connaître les techniques fondamentales de l'industrie des pâtes et papiers et les mesures de protection environnementale prises par elle. Il indique à quelles étapes se font les rejets, décrit les mesures de lutte contre la pollution et fournit une idée du coût de ces mesures. Il est destiné aux agents du Service de la protection de l'environnement (SPE) qui surveillent les effluents des usines de pâtes et papiers et à ceux qui s'occupent de la conception et du fonctionnement des systèmes de dépollution dans cette industrie. Prière d'adresser tous commentaires à M. John Betts, Direction des programmes industriels du SPE.

Il s'agit d'une mise à jour du manuel "Techniques de base de l'industrie des pâtes et papiers et méthodes de réduction de ses déchets" (Manuel de formation SPE 6-WP-74-3F), et du rapport intitulé "Techniques de lutte contre la pollution atmosphérique dans l'industrie de la pâte de bois" (SPE 3-AP-77-6F); elle tient compte de l'évolution technique et des changements économiques dont cette industrie a été le témoin depuis le début des années 1970. La présentation de la version de 1975 a été respectée autant que possible pour ne pas dérouter le lecteur.

La quantité de déchets caractéristique de chaque étape de la transformation a été indiquée, quand elle était connue. Cependant, les utilisateurs doivent savoir que ces données sont propres à chaque usine et qu'il faut tenir compte des données et des conditions locales.

Nous avons tenté d'incorporer dans le rapport quelques notions des contraintes économiques que le respect des normes écologiques fait subir aux usines. Tous les coûts sont exprimés en dollars canadiens de 1983 et, quand il s'agit d'immobilisations, nous avons inclus les coûts des bâtiments, de l'équipement, de l'installation, des frais d'administration, de génie et de surveillance des travaux de construction. Ici, plus encore, il faut tenir compte du caractère local des coûts.

Le système international de mesures (SI) adopté par l'Association canadienne de normalisation dans son Guide canadien de familiarisation au système métrique (CAN-Z234) a été employé ici pour exprimer toutes les données numériques. Le symbole t représente la tonne métrique, qui vaut 1000 kg. Le glossaire fournit la signification des autres abréviations.

2 SURVOL DE L'INDUSTRIE DES PÂTES ET PAPIERS

2.1 Importance dans l'économie canadienne

L'industrie des pâtes et papiers et des produits connexes constitue depuis toujours une des pierres angulaires de l'économie canadienne. En 1981, les quelque 144 usines dénombrées au Canada ont atteint une production annuelle de presque 12 milliards de dollars. Cette somme créerait, dans l'économie, un pouvoir d'achat d'environ 22 milliards de dollars de revenu national, alors que le PNB, au Canada, est d'environ 330 milliards de dollars.

Avec 83 000 emplois en usine et dans les bureaux, cette industrie est le troisième employeur industriel en importance; si l'on compte les travailleurs forestiers, elle passe sans doute au premier rang.

Pays exportateur, le Canada vend à l'étranger environ 50 p. 100 de ses biens et services. La pâte, le papier et les produits forestiers constituent la principale valeur d'exportation, avant les minéraux, les produits pétroliers et les denrées agricoles. Les produits de pâtes et papiers constituent environ 10 p. 100 des exportations canadiennes. Le tableau 1 donne un aperçu et l'on voit que 78 p. 100 des 21 millions de tonnes produites sont exportés.

TABLEAU 1 PRODUCTION ET EXPORTATIONS CANADIENNES EN 1981

Type de produit	Production de 1981 en milliers de tonnes	Exportations de 1981 en milliers de tonnes
Papier journal	8 707	7 987
Papier de bois	7 579	6 752
Carton	2 193	762
Papier écriture	1 529	573
Papier mousseline et papier hygiénique	153	29
Papier d'emballage	495	207
Carton à bâtir, papier pour la construction	410	44
Fibre secondaire		116
Total	21 066	16 470

Le tableau 2 donne la liste des pays à destination desquels la production de 1981 a été exportée. Il est clair que l'industrie des pâtes et papiers dépend fortement de la demande des pays étrangers. Ce tableau montre aussi que les États-Unis en sont les meilleurs clients, puisqu'ils absorbent 65 p. 100 des exportations.

TABLEAU 2 DESTINATION DES EXPORTATIONS CANADIENNES DES PRODUITS DE PÂTES ET PAPIERS EN 1981

	Milliers de tonnes	Variations depuis 1972
États-Unis	10 794	+4 p. 100
Royaume-Uni	973	-27 p. 100
Europe de l'Ouest	2 031	+50 p. 100
Japon	780	+59 p. 100
Amérique latine	833	+10 p. 100
Tous les autres	1 060	+30 p. 100

À l'échelle mondiale on prévoit, à long terme, une hausse de la demande de tous les principaux produits, ainsi que du potentiel de la plupart des concurrents étrangers. En particulier, les exportations canadiennes vers les États-Unis ont à peine progressé au cours des dix dernières années car l'industrie locale a pu suffire en bonne partie à l'augmentation de la demande. Les produits canadiens sont généralement jugés de bonne qualité par nos clients d'outre-mer et ceci est dû à la bonne qualité de notre bois et à notre savoir-faire. Toutefois, le coût de revient influe fortement sur la quantité de pâtes et papiers que l'on peut exporter; les coûts au Canada ont progressé en flèche au cours des dix dernières années et ont freiné les exportations.

La figure 1 montre comment a progressé la production des principaux produits au cours des 50 dernières années. On remarquera notamment la forte augmentation de la production de pâte kraft et l'apparition récente de la production de pâte thermomécanique, correspondant à une diminution de la production de pâte au bisulfite.

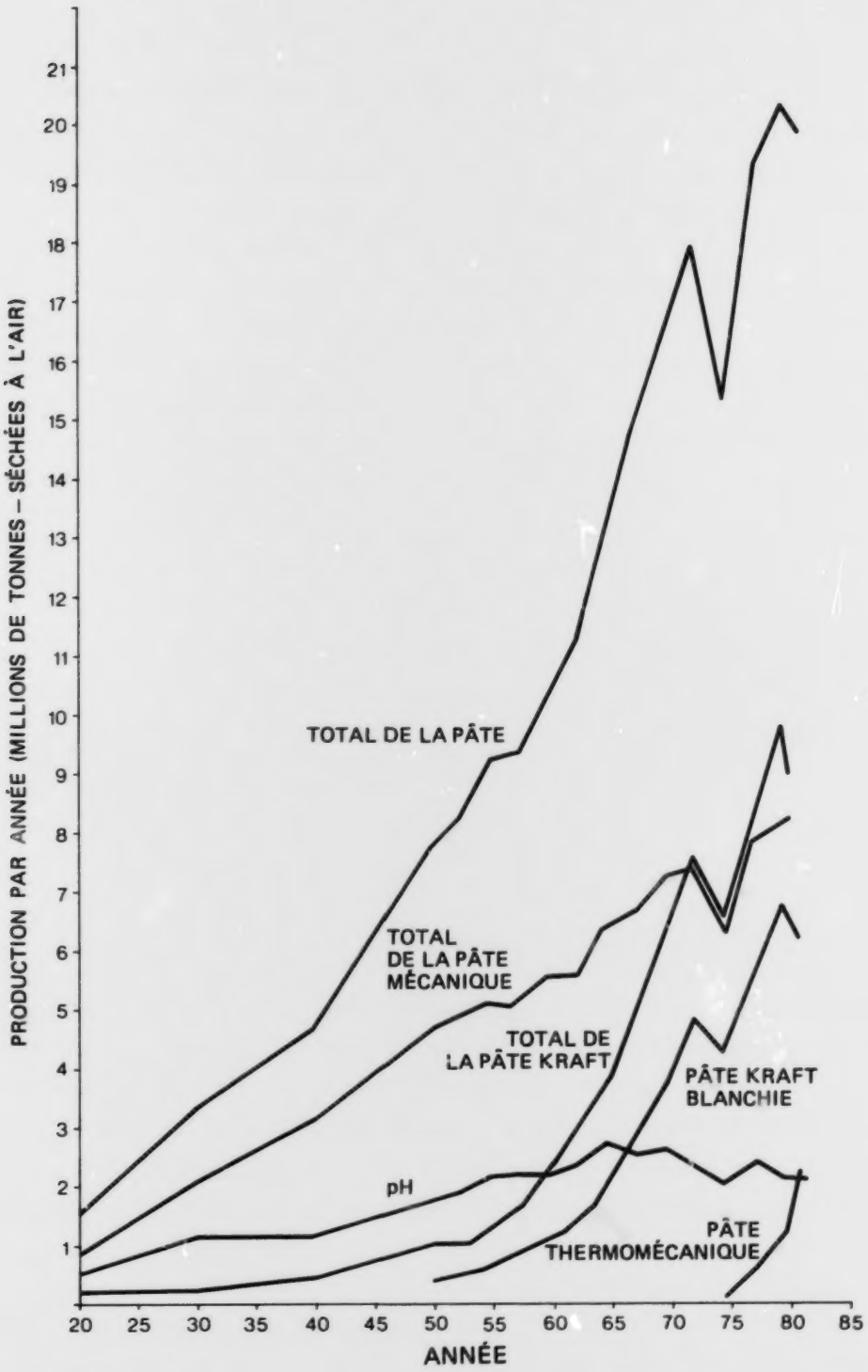

FIGURE 1 **Production canadienne de pâte entre 1920 et 1981**

2.2 Situation générale de la lutte contre la pollution

Malgré son expansion, l'industrie papetière a réduit de près de la moitié ses rejets de matières solides en suspension au cours des années 1960, et de 24 p. 100 la demande biochimique en oxygène (DBO) au cours de la même période.

La figure 2 montre quels progrès ont été accomplis de 1969 à 1980. La ventilation des données à l'échelle régionale est fournie dans le rapport provisoire sur la dépollution de l'eau dans l'industrie des pâtes et papiers - 1980 (SPE 3-WP-82-3).

2.3 Règlements pour la protection du milieu

Le gouvernement fédéral, les gouvernements provinciaux et les municipalités exercent tous une certaine juridiction sur divers aspects de la protection de l'environnement, en rapport avec l'industrie des pâtes et papiers. Les municipalités n'ont pas beaucoup intervenu dans la réglementation des rejets d'usine, mais toutes les provinces où est installée l'industrie des pâtes et papiers ont mis sur pied des organismes de protection environnementale et ont adopté des mesures législatives pour contrer la pollution qu'engendre cette industrie.

Dans leurs grandes lignes, les règlements provinciaux sont compatibles avec les lignes directrices et règlements fédéraux. Cependant, dans certains cas ils sont plus sévères et il arrive parfois qu'ils traitent de questions non prévues du côté fédéral. Par exemple, l'Ontario a adopté une réglementation pour limiter la teneur dans l'air de différents polluants gazeux à des points de retombée situés hors de l'usine. Cette teneur tolérée est calculée selon une formule mathématique définie dans les règlements.

Les organismes provinciaux concernés sont en mesure de fournir tous les détails sur les règlements provinciaux.

2.3.1 Rejet d'effluents. - Le rejet d'effluents dans les cours d'eau est du ressort direct du gouvernement fédéral qui a adopté des mesures particulières pour les rejets liquides dans l'industrie des pâtes et papiers (cf. SPE 1-WP-72-1 et SPE 1-WP-72-2). Sa politique vise à réfréner la pollution à la source au moyen des meilleures techniques de lutte applicables.

2.3.2 Émissions atmosphériques. - Au Canada, la lutte contre la pollution atmosphérique produite par des sources fixes est habituellement du ressort direct des provinces. (Les exceptions sont décrites dans les sections 7 et 9-18 de la Loi sur la lutte

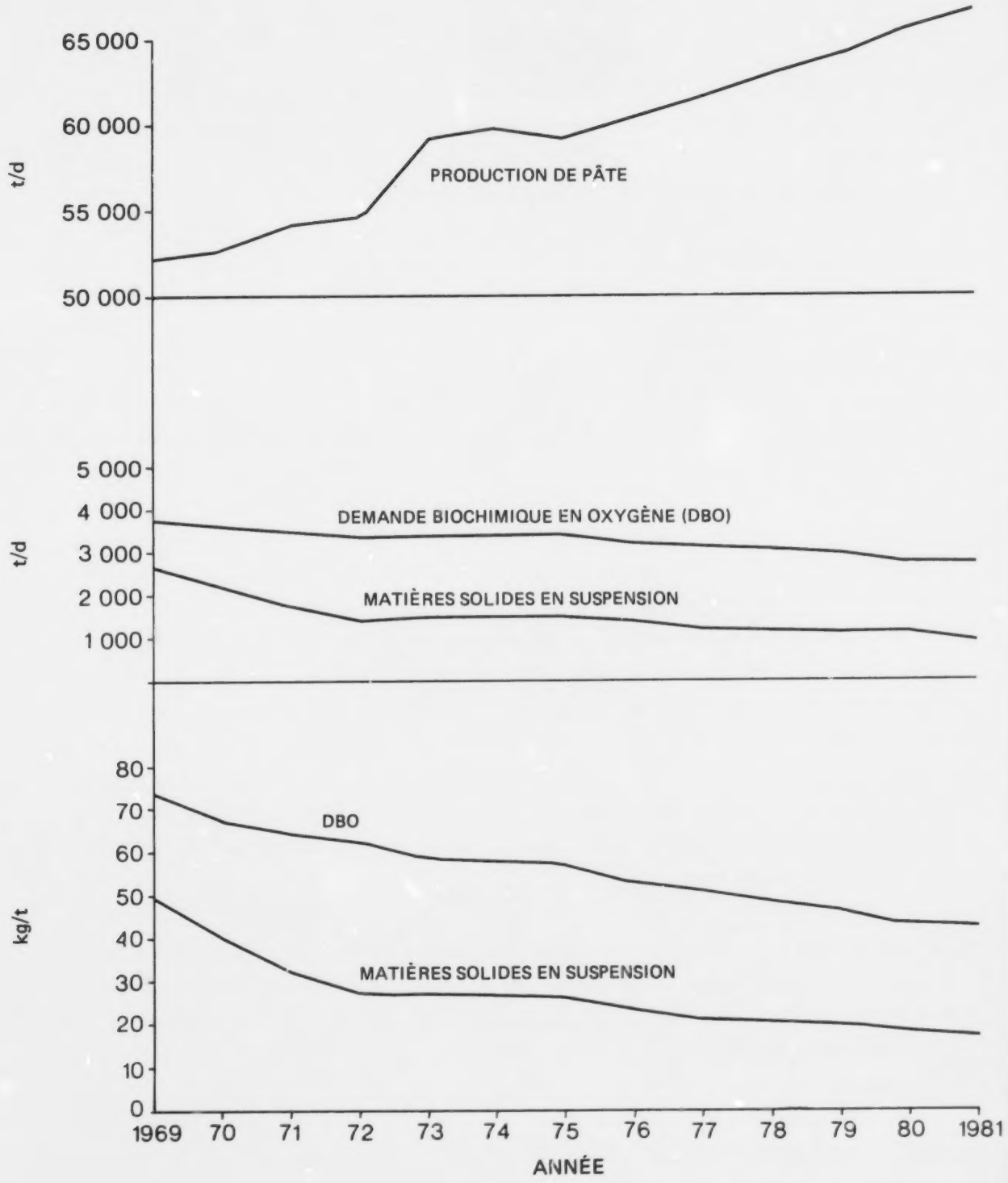

FIGURE 2 **Comparaison entre la production de pâte, la DBO et les rejets de matières solides en suspension (1969-1981)**

contre la pollution atmosphérique.) Le gouvernement fédéral exerce sa juridiction dans certains domaines précis, notamment les dangers pour la santé, la pollution atmosphérique transfrontière et la pollution dans les locaux fédéraux. En vertu de la Loi sur la lutte contre la pollution atmosphérique, le gouvernement fédéral est autorisé à formuler et à publier des lignes directrices relatives aux émissions atmosphériques pour l'ensemble du pays afin de promouvoir une tactique commune de lutte contre la pollution au pays. Ces lignes directrices ont pour objectif d'établir des limites pour les émissions qu'on pourrait considérer comme des "valeurs de référence nationales" et que les gouvernements provinciaux peuvent adopter comme normes minimales pour leur propre réglementation. Ces lignes directrices s'appuient aussi sur la lutte contre la pollution à la source au moyen des meilleures techniques applicables.

Dans le cas de l'industrie des pâtes et papiers, beaucoup d'organismes de surveillance ont promulgué ou préparent des règlements, lignes directrices et objectifs. Les tableaux 19 et 20 donnent un aperçu des limites maxima fixées par certains de ces organismes. Les limites sont sensiblement les mêmes malgré quelques variations dans le choix des méthodes et le degré d'application.

Dans l'esprit du législateur, les lignes directrices nationales constituent des limites aux émissions pour toutes les phases d'exploitation, sauf pour la mise en marche ou les arrêts prévus de la chaîne de production et quand le fonctionnement est perturbé. Le tableau 19 donne le résumé des lignes directrices fédérales dans les nouvelles usines.

2.3.3 Élimination des déchets solides. - Le gouvernement fédéral n'exerce aucun contrôle direct sur l'élimination des déchets solides dans l'industrie des pâtes et papiers, mais la plupart des provinces ont adopté des règlements appropriés et veillent à leur application. Cependant, du fait que l'élimination produit souvent des eaux de lessivage contaminées et occasionne parfois des problèmes de pollution atmosphérique, il arrive souvent que le gouvernement fédéral a un contrôle indirect sur les pratiques employées.

2.3.4 Produits chimiques dangereux. - Divers organismes fédéraux ont appliqué différentes mesures pour réglementer ou interdire l'emploi de produits chimiques dangereux. Elles suffisent pour régler le problème dans l'industrie des pâtes et papiers et ne sont pas considérées dans le présent manuel, sinon en ce qui a trait à l'élimination de certains produits qui étaient stockés auparavant, mais qui sont maintenant interdits ou sévèrement réglementés.

La Loi sur les pesticides, les règlements d'Agriculture Canada et de la Direction des aliments et drogues imposent un certain nombre de restrictions sur l'emploi des produits chimiques vendus au Canada. Les produits comme les biocides industriels sont le plus souvent réglementés par un ou plusieurs de ces organismes. Étant donné que la majeure partie du papier canadien est vendue aux États-Unis, beaucoup de compagnies s'assurent que les produits potentiellement toxiques qu'elles doivent employer sont également approuvés par le Food and Drug Administration (É.-U.).

2.4 Principaux procédés de production des pâtes et papiers

2.4.1 Généralités. - La première étape de la fabrication du papier consiste essentiellement à défibrer le bois par des moyens mécaniques ou chimiques et d'en extraire les impuretés. Le produit intermédiaire est appelé pâte et c'est souvent ce qu'exportent les usines canadiennes. Le papier est obtenu par le mélange de la bonne qualité de pâte avec des additifs non fibreux et par le façonnage d'une feuille aux caractéristiques voulues.

On blanchit habituellement les fibres destinées à fabriquer du papier pour impression et on ne blanchit normalement pas les fibres destinées à former des papiers de construction et des papiers d'emballage.

Le lecteur trouvera au glossaire la définition des expressions techniques peu connues.

2.4.2 Préparation du bois. - Dans la plupart des cas, on commence par l'écorçage car l'écorce est une matière essentiellement non fibreuse dont la présence entraîne de moins bonnes caractéristiques du papier. Jadis, une bonne partie de l'écorce était enfouie ou jetée dans une rivière avoisinante; maintenant, on la brûle le plus souvent, ce qui permet de régler le problème de l'élimination et de produire de la vapeur.

Anciennement, l'atelier de préparation du bois employait une grande quantité d'eau et rejetait un effluent contenant une forte DBO et une grande quantité de matières solides en suspension. Beaucoup d'usines contournent maintenant le problème en utilisant des procédés à sec.

Dans certaines installations modernes, notamment en Colombie-Britannique, le bois de construction est scié par une machine qui transforme aussi tout le bois résiduel en copeaux prêts à être mis en pâte. Comme les arbres de la Colombie-Britannique ont un fort diamètre et que l'industrie du bois débité est importante dans cette province, le

marché y est davantage orienté vers les scieries que dans l'Est. Certaines usines de pâtes et papiers emploient seulement des copeaux achetés dans les scieries et n'ont donc pas d'atelier pour la préparation du bois.

2.4.3 Réduction du bois en pâte et blanchiment. - Il y a deux procédés importants: le procédé chimique et le procédé mécanique. Selon le premier, les copeaux sont séparés en fibres par cuisson sous pression avec des agents chimiques et de la vapeur. Le procédé kraft, qu'on appelle aussi procédé au sulfate, est le procédé chimique le plus répandu et produit une pâte foncée et résistante qui convient à la fabrication d'un grand nombre de types de papiers. L'autre procédé chimique important, celui au sulfite, produit une pâte moins colorée et moins résistante qui convient davantage au papier de qualité impression, et il ne nécessite en général que peu de blanchiment.

Avec le procédé kraft, les éléments non fibreux du bois, qui ne sont pas transformés en pâte, sont récupérés et recyclés en même temps que la majeure partie des agents de cuisson. La conjugaison de certains facteurs économiques et techniques explique que les résidus non fibreux soient rarement récupérés dans le procédé au sulfite, et cela crée souvent un problème de DBO dans l'effluent.

La pâte mécanique est obtenue par le broyage des billes en fibres distinctes sur des meules rotatives ou en poussant les copeaux entre des plaques d'acier cannelées en rotation dans un raffineur. Ce procédé permet de transformer plus de 90 p. 100 du bois écorcé en pâte utilisable, tandis que la plupart des procédés chimiques ne donnent qu'un rendement de 60 p. 100 ou moins.

Dans le procédé mécanique, les matières solubles extraites du bois sont déversées à l'égout. La DBO est donc forte et des problèmes de toxicité peuvent surgir, beaucoup moins toutefois que dans les usines de pâte au bisulfite sans système de récupération chimique.

Dans tous les procédés mentionnés ci-dessus, la pâte se présente sous forme de bouillie après l'extraction des agents de cuisson et des matières organiques dissoutes du bois. Elle est ensuite séchée et vendue aux papeteries ou bien elle est raffinée, nettoyée et mélangée à d'autres pâtes et produits chimiques pour être transformée en papier à l'usine même. La majeure partie de la pâte destinée à la fabrication du papier impression est blanchie ou parfois, semi-blanchie. Auparavant, le papier journal n'était pas blanchi, mais maintenant, beaucoup d'usines à papier journal traitent la pâte pour lui faire gagner quelque peu en blancheur.

Généralement, le blanchiment est un procédé complexe à base de plusieurs produits chimiques chlorés. Environ 7 p. 100 de la pâte est solubilisée et déversée dans l'égout, ce qui constitue la principale source de coloration ainsi qu'une partie importante de la DBO et de la toxicité des résidus produits par les usines de pâte blanchie. Le blanchiment de la pâte mécanique est plus simple et produit assez peu d'effluents.

La figure 3 présente les principales opérations qu'effectuerait une usine mixte hypothétique. Bien entendu le schéma est simplifié et ne tient pas compte de la centaine de boucles de recyclage qu'une telle usine comporterait.

Tous les procédés mentionnés ci-dessus et leurs variantes sont décrits en détail plus loin dans le manuel.

2.4.4 Principaux produits finis. - Jusqu'au milieu des années 1970, le papier journal était formé de pâtes au sulfite dans une proportion de 25 p. 100 et de pâtes mécaniques dans une proportion de 75 p. 100. Au cours des dernières années, on a eu tendance à remplacer la pâte mécanique par la pâte thermomécanique (cuite sous pression dans des raffineurs) et à réduire, sinon éliminer, la teneur en pâte au sulfite. Techniquement, il est possible de remplacer la pâte au sulfite par de la pâte kraft, mais cette solution n'est économique que dans certains cas.

La pâte kraft blanchie est habituellement vendue aux papeteries, principalement sur le marché d'exportation, mais les quelques usines canadiennes qui en fabriquent sont intégrées à des papeteries et produisent des papiers fins en employant surtout leur propre pâte à laquelle elles ajoutent de petites quantités d'autres pâtes et d'additifs.

La pâte kraft non blanchie peut être vendue, mais le plus souvent, on en fait du carton doublure ou d'autres catégories de papier d'emballage sur place.

Les grosses usines au bisulfite écoulent généralement leurs produits sur le marché tandis que les usines plus petites sont le plus souvent intégrées à des papeteries et n'alimentent que les machines à papier sur place, qui produisent surtout du papier journal et du papier de qualité semblable.

2.4.5 Sources d'effluents et d'émissions atmosphériques. - Traditionnellement, d'énormes quantités d'eau sont consommées dans les usines de pâtes et papiers pour le transport du bois à l'intérieur de l'usine, pour générer l'électricité et pour la transformation des fibres en pâte ou en papier. L'eau était employée sans recyclage et les importantes pertes de produits chimiques, de fibres et de chaleur qui s'ensuivaient

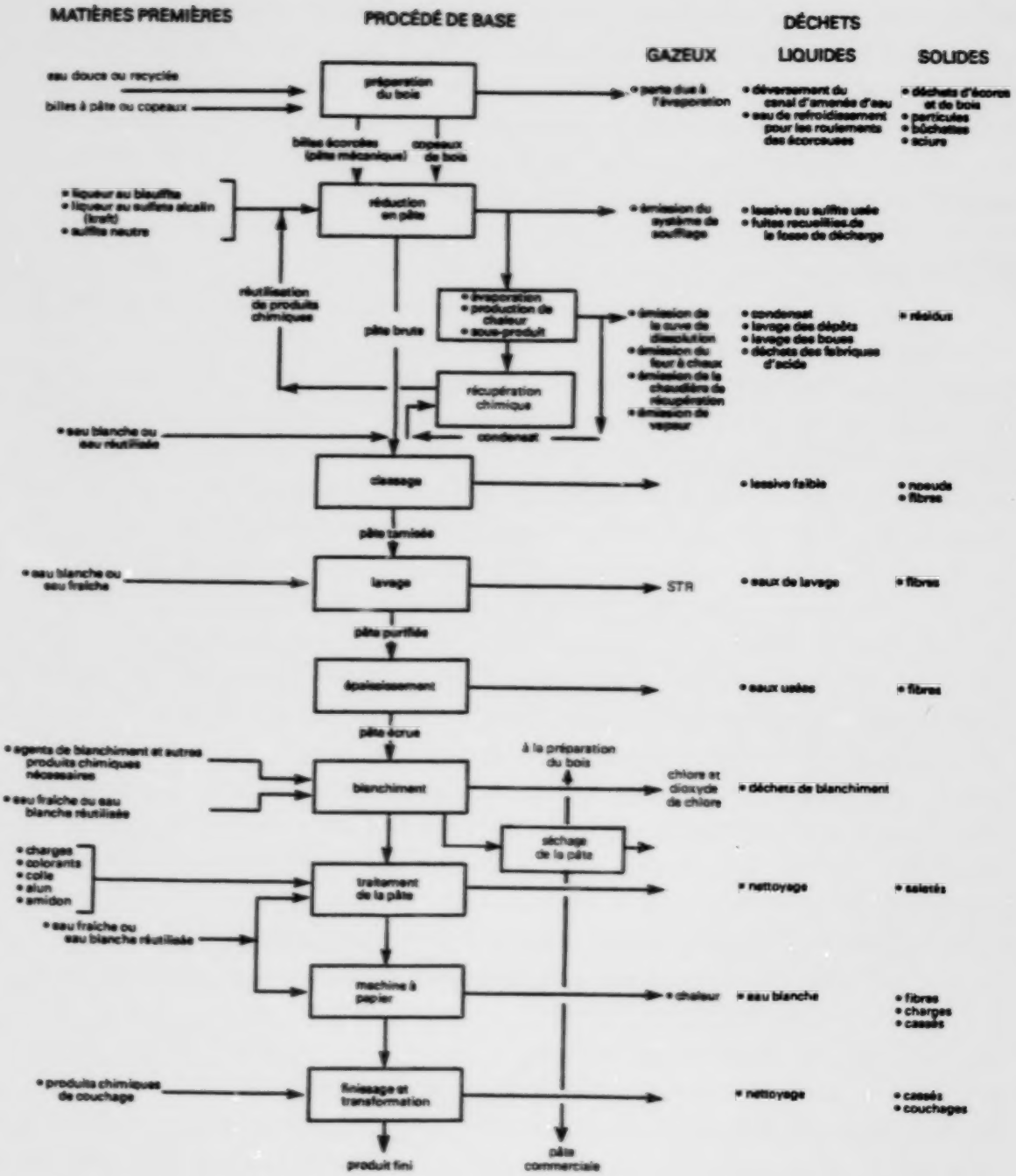

FIGURE 3 Schéma des procédés de base de fabrication des pâtes et papiers

n'avaient pas beaucoup d'importance puisque le bois et l'énergie ne coûtaient pas cher, et qu'il y avait peu de concurrence. L'industrie papetière requiert encore de très grandes quantités d'eau au cours de la plupart des étapes de fabrication, mais de nos jours, l'eau est largement réutilisée et recyclée et, en outre, on sépare l'eau peu contaminée de celle qui l'est davantage et des produits de condensation. Cela a permis aux usines de réduire considérablement les besoins en eau douce et, en corollaire, le volume d'effluents à traiter. Du même coup, la contamination par les fibres et les produits chimiques a considérablement diminué, ainsi que les pertes de chaleur.

Chacune des étapes de la fabrication produit plus ou moins de déchets, selon le traitement effectué. En fait, il s'agit de rendement que l'on définit habituellement comme étant le rapport entre la quantité de pâtes et papiers produite en fin de chaîne et la quantité de bois traité, et il est toujours inférieur à 100 p. 100. Des rendements inférieurs signifient qu'il y a beaucoup de cellulose dans le produit, comme c'est le cas avec les pâtes chimiques. Les rendements élevés obtenus avec la pâte mécanique ou thermomécanique signifient qu'il y a beaucoup de lignine. Présentement, le rendement varie entre 30 p. 100 et 95 p. 100.

La différence entre 100 p. 100 et le rendement obtenu correspond aux déchets à éliminer directement ou non, la plupart du temps sous forme de matières dissoutes ou en suspension, par exemple, les lessives de cuisson, les solutions de blanchiment et autres, qui contiennent des fibres, des composés organiques extraits du bois et des agents chimiques de transformation. Il y a de faibles pertes de gaz et de vapeur dans les procédés de cuisson, d'évaporation et de récupération des produits chimiques entre autres, et de faibles pertes sous la forme de copeaux rejetés, de sable, de poussière, de boues et de corps étrangers.

D'autres précisions sont données aux chapitres 4 à 12 où les opérations sont décrites étape par étape, mais on peut résumer les diverses sources comme ci-dessous.

L'écorce, qui peut constituer jusqu'à 15 p. 100 du poids du bois, doit être enlevée et employée comme combustible ou être enfouie. L'écorçage est à la source d'une importante partie de l'effluent dans beaucoup d'usines.

Une petite fraction des matières reprises à l'une ou l'autre des étapes, normalement moins d'un pour cent, est plutôt inerte et intrinsèquement inutilisable, et il faut l'enlever pour satisfaire les clients. Il s'agit de sable et de matières connexes qui s'ajoutent aux matières solides en suspension dans l'effluent.

Une autre fraction, du vingtième à 1,3 fois le poids du produit, est constituée des matières organiques solubles du bois qui sont séparées du bois brut lors du défibrage. Elle constitue la principale source de DBO et de toxicité des effluents.

Dans les usines de pâte kraft, cette matière organique est récupérée presque en entier et brûlée dans une chaudière de récupération avec les agents de cuisson usés. Les rejets de polluants de ce procédé sont formés par les pertes qui se produisent au cours des cycles complexes du défibrage et de la récupération, les difficultés matérielles, techniques et économiques empêchant d'obtenir un rendement parfait de l'équipement. Les pertes correspondent habituellement à quelques dixièmes du pourcentage de la quantité totale de matières traitées.

La situation est un peu la même dans les usines de pâte au sulfite qui ont un faible rendement, quoique des difficultés liées aux procédés employés réduisent l'efficacité des systèmes de récupération à un niveau encore plus faible que celle des usines de pâte kraft. À mesure que le rendement de la fabrication de pâte augmente, la production de résidus organiques diminue, mais leur récupération et leur recyclage se compliquent beaucoup, si l'on veut qu'ils soient efficaces. La plupart des usines canadiennes à faible rendement qui emploient le procédé au sulfite sont très grosses et assurent une certaine récupération des produits chimiques, soit par un procédé classique, soit en fabricant des sous-produits. En conséquence, elles provoquent en général, dans l'égout, une DBO plus faible que dans le cas des usines au sulfite à rendement élevé et moyen.

Bien que le rapport entre la DBO et les rejets de matières organiques soit complexe et non linéaire, il n'en est pas moins vrai que l'augmentation de la DBO est, grosso modo, proportionnelle à la teneur en matières organiques des résidus de la réduction du bois en pâte.

En principe, il n'y a aucune raison pour que les procédés de récupération des produits chimiques dégagent d'autres émissions atmosphériques que des produits de combustion sans danger, par exemple du gaz carbonique et de l'eau. Cependant, l'équipement disponible a ses limites et il laisse s'échapper des gaz malodorants, des particules et dans certains cas, une quantité importante de dioxyde de soufre.

Dans les usines de pâte mécanique, les techniques actuelles font qu'il n'est pas rentable de récupérer et de recycler les matières organiques du bois.

Quant on blanchit la pâte chimique, il faut extraire la lignine résiduelle de la pâte, la plupart du temps avec du chlore ou des composés chlorés. En principe, les matières organiques extraites pourraient être récupérées et incinérées avec celles du défibrage, mais à cause de la contamination par les chlorures, cela n'était pratiqué que par une seule usine au moment de la rédaction du présent rapport. Ces matières organiques entraînent donc une forte demande biologique en oxygène et une toxicité élevée des effluents.

Certains des produits chimiques employés pour préparer la pâte restent liés à celle-ci ou sont incinérés. Cependant, en plus de la perte de rendement, la plupart des agents de blanchiment et une partie des autres produits doivent être rejetés, principalement sous forme de matières en solution dans l'effluent.

Quel que soit le procédé adopté, il faut toujours transporter de grandes quantités de pâte en suspension diluée dans l'eau puis diluer et épaissir plusieurs fois la suspension pour créer des conditions de fonctionnement répondant à tous les types d'équipement. Cela nécessite le recyclage de grandes quantités d'eau contenant des fibres en très faible concentration (moins de 0,1 p. 100), couramment appelée eau blanche bien que parfois, elle soit plutôt brun très foncé. Dans la plupart des usines, les limitations imposées par l'équipement, les débordements et les fuites alimentent substantiellement l'effluent en matières solides en suspension. Le recyclage de l'eau blanche a été sans cesse perfectionné depuis 50 ans et s'améliore encore, de sorte que les pertes de matières en suspension diminuent.

Outre le rejet continuel d'effluents et les émissions atmosphériques dont il a été fait mention, il se produit d'importants rejets par suite de défaillances mécaniques ou d'erreurs de jugement. À mesure que le recyclage a été amélioré et que certains procédés intrinsèquement polluants ont été progressivement éliminés, ces accidents ont pris de l'importance. Ils sont souvent responsables de plus du tiers du total des matières solides en suspension et de la DBO des effluents. Très souvent et surtout dans le cas des émissions atmosphériques, les forts rejets ponctuels sont plus spectaculaires, provoquent davantage le mécontentement du public et endommagent beaucoup plus l'environnement que des émissions qui fréquemment, sinon continuellement, dépassent légèrement les normes. On s'est demandé si les effectifs disponibles pour la lutte contre la pollution ne seraient pas, dans bien des cas, mieux employés s'ils servaient à réduire la fréquence et la gravité des déversements accidentels plutôt qu'à tenter d'abaisser les émissions continuelles à des teneurs très faibles.

3 HISTORIQUE

On peut appeler papier toute feuille de fibres enchevêtrées ou feutrées assemblées sur une toile métallique à partir d'une solution aqueuse. À Alexandrie, les Égyptiens extrayaient la moelle du papyrus pour faire des feuilles, d'où le nom de "papier" qui leur a été donné. Les fibres étaient ôtées par couches, disposées à plat et à angle droit, puis pilées, humectées et pressées. Le défibrage était incomplet. Le papyrus a été, dans l'Antiquité, le support d'écriture le plus utilisé. Certains documents remontent à 3600 avant J.-C.

Dans la forme que nous lui connaissons aujourd'hui, le papier fit son apparition en Chine vers l'an 100 de notre ère, quand T'sai Lun, considéré comme l'inventeur de la papeterie, se servit d'abord du liber du mûrier. Il découvrit qu'une suspension fibreuse macérée, filtrée à travers un fin tamis et séchée, constituait un support adéquat pour l'écriture et le dessin. On utilisa d'abord les fibres libériennes du chanvre et du lin, mais elles furent remplacées par la suite par les fibres de coton et de chiffons à mesure que le procédé était perfectionné. On découvrit que l'addition d'amidon et de mucilages végétaux, ainsi que de colle animale et de gommes végétales, conférait de la résistance et du lissé au papier et améliorait la qualité. Le coton et les chiffons sont encore employés de nos jours pour la fabrication de papier "bond" de première qualité, de papier pour billets de banque et de papier pour documents, ou quand il faut un papier résistant. L'art de la papeterie fut importé en Europe vers le XII^{e} siècle. En 1930, il existait un certain nombre de papeteries en Espagne, en Italie, en France et en Allemagne.

Présentés dans l'ordre chronologique, les événements suivants donneront au lecteur un aperçu des progrès les plus importants jusqu'à nos jours.

1495 Publication de la Bible de Gutenberg, qui marque l'apparition du livre et l'augmentation de la demande en papier qui en a résulté.

1680 Invention de la pile raffineuse hollandaise, un procédé mécanique pour macérer ou défibrer de grandes quantités de matières fibreuses brutes.

1784 Découverte du chlore par le chimiste suédois Scheele. On découvrit rapidement le pouvoir qu'a le chlore de blanchir le papier. Au commencement, son emploi incorrect donnait un papier de qualité inférieure et a discrédité ce produit.

1798 Invention d'une machine à papier en continu par Nicholas Robert en France, qui doit déclarer faillite avant d'avoir pu mettre son invention au point.

1800 Apparition du collage en cuve avec de la résine et de l'alun. Auparavant, on employait de la colle animale et des gommes végétales, procédé coûteux et d'exécution difficile. Encore en usage de nos jours, la résine et l'alun rendent le papier plus résistant à l'humidité, lui permettent de mieux retenir l'encre et facilitent l'impression.

1807 Délivrance d'un brevet d'invention à Henry et Sealy Fourdrinier pour une "machine à papier améliorée". Cette soudaine possibilité d'accroître la production incite à rechercher activement de nouvelles sources abondantes de matières premières, car le coton et les chiffons sont rares.

1809 Invention de la machine à forme ronde par le papetier anglais John Dickinson.

1844 En Allemagne, Keller invente la pâte mécanique. Celle-ci est toutefois peu résistante et ce n'est qu'en 1870 qu'on commence à l'utiliser dans le commerce.

1854 Apparition de la pâte de bois chimique. En Angleterre, Watt et Burgess fabriquent la "pâte à la soude" en faisant bouillir le bois à température élevée dans des produits alcalins caustiques.

1894 Inauguration de la première usine de pâtes et papiers en Colombie-Britannique à Alberni, sur l'île Vancouver. Elle fermait ses portes six mois plus tard.

1897 Les machines produisent le papier à 150 m/minute.

1900 À l'aube du XX^{e} siècle, la fabrication canadienne de papier est limitée et orientée vers le marché canadien.

1907 Production de la première pâte kraft d'Amérique du Nord à East Angus, Québec, par la Brompton Pulp et Paper Company.

1912 La création de la première association de protection contre les feux de forêts dans la vallée du Saint-Maurice au Québec.

1913 Aux États-Unis, les forêts ne suffisent plus à la demande croissante de papier. Le gouvernement américain supprime donc les droits de douane sur le papier journal, ce qui stimule la croissance de cette industrie au Canada.

1913 Création à Montréal du Laboratoire des produits forestiers, l'ancêtre de l'Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers.

1913 La création de l'Association canadienne des producteurs des pâtes et papiers.

1913 La construction de la première usine de pâte au sulfate en Amérique du Nord pourvue d'un système de récupération chimique.

1918 La production canadienne dépasse les 100 millions de dollars pour la première fois, soit dix fois plus qu'au tournant du siècle. Le Canada devient donc le plus gros exportateur de pâtes et papiers.

1920 Les machines peuvent fabriquer le papier à 300 m/minute.

1920-29 Expansion de l'industrie canadienne qui se poursuit; les grands centres papetiers du nord-ouest de l'Ontario, de la vallée du Saint-Maurice, de la vallée de l'Outaouais et du Lac-Saint-Jean se développent très rapidement. En 1926, la production canadienne de papier journal dépasse la production américaine pour la première fois, et depuis, l'écart augmente sans cesse.

1928 Création de l'Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers.

1930-33 Avec la Dépression, la production canadienne de pâte et de papier chute du tiers en volume et de la moitié en valeur. Ses effets sont terribles et secouent notamment les producteurs de papier journal.

1933-34 Démonstration à Windsor, au Québec, d'un système de récupération des agents chimiques de fabrication de la pâte kraft à partir de la lessive noire, par le Canadien George Tomlinson.

1935 La demande se redresse un peu et l'industrie commence à se relever.

1935-45 L'effort de guerre canadien mobilise les ressources, ce qui a diverses conséquences pour l'industrie. Dans un premier temps, la production s'accroît de façon importante et il faut construire des installations pour couvrir les besoins extraordinaires. Par la suite, la production est ralentie quand se fait sentir le besoin en hommes, matériaux et électricité.

1946 Les compagnies s'adaptent à l'économie de l'après-guerre. La production s'accroît brusquement, pour dépasser les 7 millions de tonnes courtes en 1950, d'une valeur de 950 millions de dollars. Pendant plusieurs années, il y a une carence de certains produits, notamment de papier journal, lors de la reprise économique.

1946 Conception par deux Canadiens, Howard Rapson et Morris Wayman, de la première usine équipée pour la préparation du dioxyde de chlore qui sert d'agent de blanchiment à Témiscamingue au Québec. Il devient possible de blanchir la pâte kraft à un degré jugé jusqu'ici impossible sans nuire à la résistance du papier. C'est ce qui est à l'origine de l'énorme expansion de la production de pâte kraft blanchie.

1955 Premier lessiveur de pâte kraft à fonctionnement continu.

1966-67 Après 160 ans, naissance d'une alternative à la machine fourdrinier: la machine à double toile qui transforme la pâte en une feuille entre deux grilles en mouvement.

1960-69 Période de grande expansion de l'industrie canadienne. De nouvelles usines sont construites partout au Canada, spécialement en Colombie-Britannique.

1966 Premier système important de traitement des effluents, installé pour traiter les résidus des usines de pâte.

Les années 1970 et suivantes sont marquées par la construction de nouvelles usines et par la commercialisation du procédé thermomécanique (PTM).

À la fin des années 1970 d'importants investissements sont consacrés à la modernisation d'usines vétustes et par la diffusion du procédé de PTM, mais peu de nouvelles usines sont construites. Les chaudières de récupération "produisant peu d'odeurs" sont devenues la norme dans les nouvelles installations. Des organismes provinciaux et fédéraux sont créés et ils appliquent un ensemble de règlements à l'industrie des pâtes et papiers. La plupart des usines ont consacré des sommes importantes aux recherches sur la pollution et à la mise en place de moyens de lutte contre la pollution.

4 PRÉPARATION DU BOIS

4.1 Alimentation en bois

Depuis dix ans, d'importants changements dans les méthodes de récolte du bois sont survenus. Avec l'introduction d'appareils mécaniques et hydrauliques perfectionnés, cette opération, qui requérait jadis une main-d'oeuvre abondante, est de plus en plus mécanisée. L'abattage, l'ébranchage, le tronçonnage et le débusquage mécanisés du bois ont considérablement augmenté la productivité de ce secteur d'activité même si une part importante du bois est encore abattue à la main.

Les trois principales méthodes modernes sont:

- l'exploitation en bois court,
- le système de l'arbre entier,
- le système grumier.

L'exploitation en bois court, la forme la plus courante, comporte l'abattage, l'ébranchage et la coupe en billes d'habituellement 1,3 ou 2,5 mètres, l'empilement ou le transport du bois. C'est une méthode qui requiert encore beaucoup de main-d'oeuvre, mais elle est de plus en plus mécanisée.

La deuxième méthode consiste à couper les arbres, à les étêter et à les empiler. Les billes sont ensuite traînées jusqu'au chemin avant d'être traitées ou transportées à l'usine. Le système grumier (par fûts entiers) consiste à ébrancher, étêter et couper les arbres à la souche pour les empiler méthodiquement, alors qu'une autre machine transporte la pile jusqu'au chemin. Les conditions du terrain et les coûts régionaux obligent parfois à combiner ces méthodes.

La conversion à la coupe mécanisée a exigé d'importantes mises de fonds initiales pour obtenir des engins tout terrain et résistant à de très basses températures, ainsi que pour construire les ateliers nécessaires à l'entretien d'un équipement aussi complexe dans des endroits reculés. Toutefois, la diminution des coûts de main-d'oeuvre et la disparition des gros camps de bûcherons sont une compensation. La mécanisation a réduit les coûts de production en forêt, mais elle a compliqué quelque peu les opérations dans les usines de pâte puisque le bois livré est maintenant plus sale qu'avant et non trié, et qu'il y a davantage de bois pourri.

De plus en plus, au cours de 1970 et des années suivantes, on a récupéré la fraction transformable en bois de construction avant de réduire les billes en copeaux, et beaucoup de petites scieries se sont procurées du matériel d'écorçage et de déchiquetage,

de sorte que les usines de pâte emploient maintenant une proportion plus importante de copeaux de scieries; cela a pour effet de reporter sur les scieries une partie du problème de l'élimination des déchets solides et aussi d'augmenter la quantité de poussière dans les usines de pâtes.

Bien que la plupart des papeteries aient leurs propres concessions forestières, elles achètent aussi du bois aux fermiers de la région et des copeaux aux scieries locales.

Il se fait peu de drave de nos jours, mais les usines conçues en fonction de cette technique sont souvent encore alimentées en bois transporté par camion et jeté à l'eau à proximité de l'usine. Les billes sont ainsi lavées et cela procure une capacité de stockage et de tri avec un minimum d'équipement. Il y a aussi, cependant, les problèmes de pollution de la rivière par l'écorce arrachée quand les billes s'entrechoquent.

Sur la côte Ouest, une bonne partie du bois est attachée en trains pesant des milliers de tonnes, tirés par des remorqueurs.

Les usines les plus récentes reçoivent habituellement tout leur bois par camion et elles le manutentionnent par des convoyeurs et des équipements mobiles. Cette technique prend beaucoup d'espace et les usines aciennes n'en ont peut-être pas assez pour l'utiliser.

4.2 Manutention du bois

À l'usine, le bois est stocké pendant une période allant de quelques jours à plusieurs mois avant d'être employé. Beaucoup d'usines ont installé des goulottes pour collecter le bois stocké et le diriger vers l'atelier de préparation, où il est écorcé. Il faut que beaucoup d'eau circule dans les goulottes. L'eau est contaminée par les fines et le lessivat organique de l'écorce, ainsi que par le sable et d'autres particules abrasives.

Dans toute installation moderne, il est essentiel d'avoir un dessableur pour ôter les grosses particules et une grille pour arrêter les gros morceaux d'écorce. Dans certains cas, le surplus d'eau est déchargé dans l'égout de l'usine, mais le plus souvent, il est intégré à celui de l'écorçage et le traitement de l'effluent se fait à la fin de cette deuxième étape.

À toutes fins pratiques, les ateliers de préparation du bois qui emploient de l'équipement mécanique pour la manutention à sec ne produisent pas d'effluents.

Les billes livrées par camion sont couvertes d'une grande quantité de déchets solides et plusieurs centaines de tonnes de terre, d'écorce et de bois arraché doivent être éliminées chaque année. Ces déchets sont habituellement enfouis et, quand le travail est bien fait, il ne cause pas de problème écologique particulier.

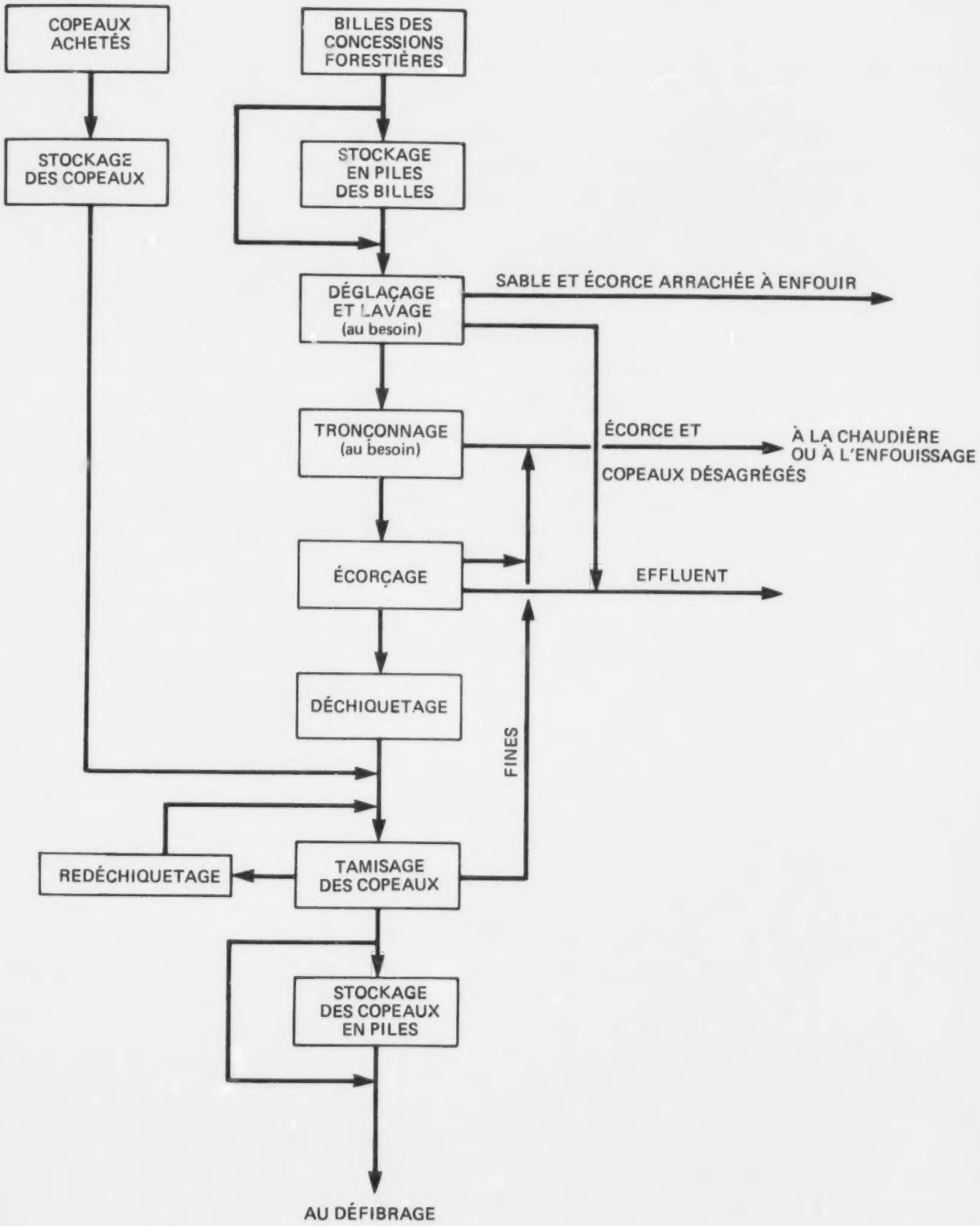

FIGURE 4 **La préparation du bois**

Les usines qui ne stockent pas de grandes quantités de billes ont habituellement une réserve de plusieurs mois de copeaux empilés sur le terrain. La figure 4 montre le schéma d'ensemble des opérations de manutention, d'écorçage et de déchiquetage.

4.3 Écorçage

Il faut enlever l'écorce des billes pour s'assurer que la pâte ne contiendra pas d'écorce ni de saleté. On emploie fréquemment l'équipement suivant:

- tambour écorceur à l'eau,
- tambour écorceur à sec,
- écorceuses hydrauliques, à gicleurs et
- écorceuses mécaniques.

Le tambour écorceur est l'appareil le plus courant. La figure 5 montre le schéma d'un tambour écorceur humide. L'écorce est arrachée par la friction des billes qui roulent l'une sur l'autre dans le tambour en rotation.

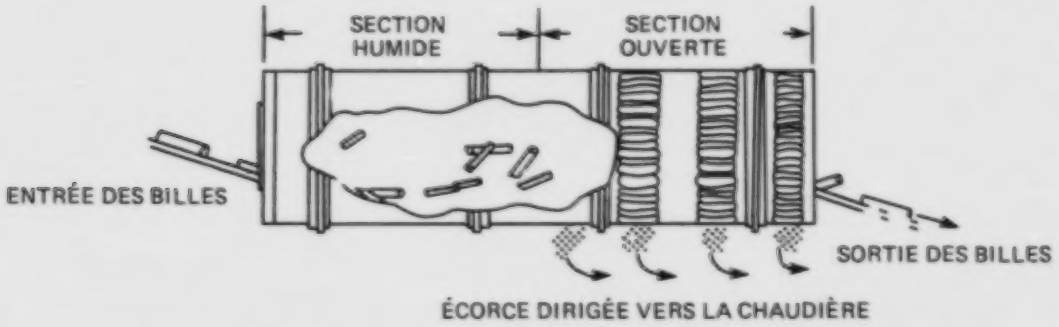

FIGURE 5 **Schéma d'un tambour écorceur à l'eau**

La section humide est formée par une plaque d'acier pleine tandis que la partie ouverte, à droite, comporte des fentes qui laissent échapper l'écorce. Les tambours écorceurs à sec comportent des fentes sur toute leur longueur.

L'eau est ajoutée à l'entrée des tambours pour faciliter l'écorçage et entraîner les particules à l'extérieur. Les modèles récents ont souvent à l'entrée une partie pleine façonnée de façon à retenir l'eau et à laisser tremper les billes dans le fond. L'autre bout comporte des fentes pour récupérer l'écorce à mesure que les billes sont dirigées vers la sortie. Les anciens modèles comportent souvent une série de fentes sur toute leur

longueur. L'écorce arrachée dans les systèmes à eau est habituellement collectée dans une goulotte ou sur des convoyeurs, elle est acheminée vers un atelier de déshydratation, ensuite dans une presse à écorce et enfin, à la fournaise. La figure 6 montre un système typique de ce genre.

Les tambours écorceurs à sec comportent des fentes sur toute leur longueur; ils sont d'ailleurs plus longs et tournent beaucoup plus vite que les précédents. L'écorce peut alimenter directement les chaudières.

Les tambours écorceurs produisent des résidus dont la quantité peut atteindre jusqu'à 5 p. 100 du bois traité. Les billes qui passent par ces appareils ont habituellement des extrémités éclatées qui produisent des copeaux de moins bonne qualité pour la réduction en pâte. Avec le système grumier, les fûts entiers sont écorcés d'une seule pièce et franchissent le tambour parallèlement l'un à l'autre.

Les écorceuses hydrauliques à gicleurs sont les plus répandues sur la côte Ouest car elles ne conviennent pas aux petites billes ni au bois gelé. On les utilise généralement pour écorcer les billes de grande dimension; elles projettent des jets d'eau sous haute

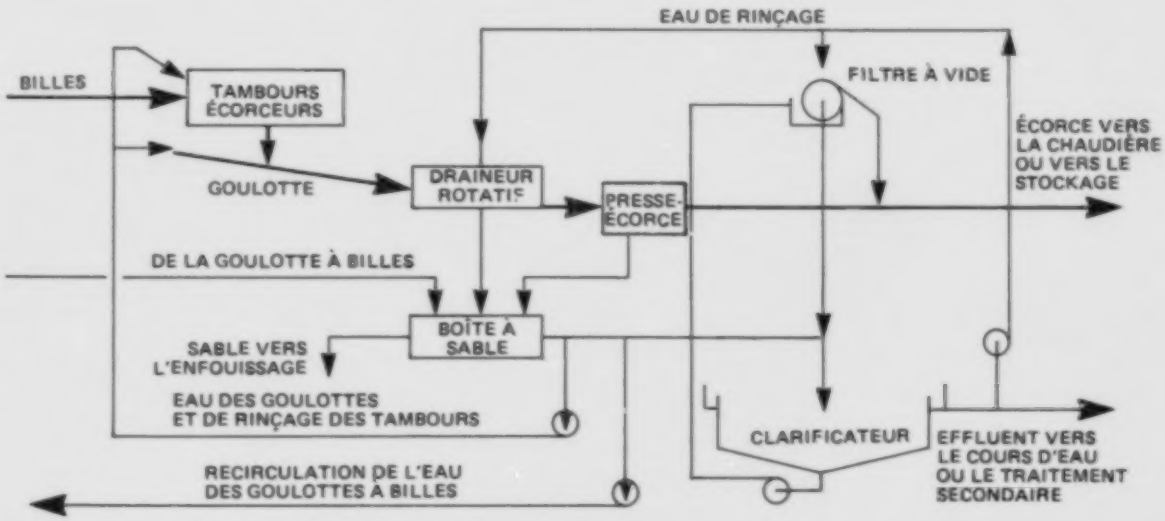

FIGURE 6 Système typique de récupération avec tambours écorceurs à eau

pression (7000 kPa ou plus). C'est une technique très efficace, mais qui demande des immobilisations importantes et qui consomme beaucoup d'énergie. Le bois est peu endommagé et les pertes sont faibles (moins de 2 p. 100). Les résidus produits par ce système sont saturés d'eau et il faut les traiter si on veut les employer comme combustible par la suite.

Les écorceuses mécaniques à sec sont dotées de couteaux rotatifs. Elles sont employées surtout dans les petites exploitations comme les scieries, bien qu'il en existe quelques gros modèles.

Lorsqu'on utilise de l'eau pour la manutention et l'écorçage on obtient des billes plus propres que par la méthode à sec parce que l'eau enlève le sable, les particules abrasives et les fines de l'écorce, et c'est la raison pour laquelle les usines à pâte mécanique ou au sulfite l'emploient de préférence, ces procédés tolérant mal la poussière. Par contre, le traitement de l'effluent de l'atelier de préparation est très coûteux (plusieurs millions de dollars) et presque toutes les nouvelles usines sont équipées d'ateliers de préparation à sec; on préfère installer des systèmes efficaces de lavage des copeaux et de lavage de la pâte pour en ôter la saleté. Non seulement l'écorçage à sec permet de minimiser les coûts de traitement de l'effluent produit dans l'atelier de préparation du bois, mais il permet également de produire davantage de vapeur en utilisant les déchets de bois.

4.4 Déchiquetage

Les usines de pâte mécanique à la meule traitent les billes écorcées entières. Dans les autres procédés, il faut généralement réduire les billes en copeaux de 12 à 18 mm pour accélérer la pénétration de la lessive dans le bois durant le défibrage chimique; c'est aussi nécessaire pour la préparation de la pâte mécanique raffinée.

Il existe plusieurs modèles de coupeuses à lames, mais le plus courant est celui formé d'une série de couteaux rattachés à un disque circulaire en rotation et qui s'attaquent aux billes acheminées par un couloir latéral. Il importe beaucoup d'avoir des copeaux de taille uniforme car ceux qui sont trop gros ou trop petits compliquent considérablement le défibrage et créent de grosses quantités de retenues de grille. Les lames émoussées ou endommagées diminuent la résistance de la pâte, par suite de la dégradation chimique de la cellulose que cela provoque. Il faut donc que la vitesse soit bien ajustée et que les couteaux restent bien affilés pour minimiser l'effritement des copeaux et la production de fines et d'éclats.

L'élimination des fines et des poussières est d'une importance critique pour les défibreurs en continu étant donné que ces impuretés encrassent les grilles que traverse la lessive et qu'elles obstruent l'espace entre les copeaux, ce qui fait que la lessive circule mal et que le lessiveur finit par se bloquer complètement. De plus, outre l'arrêt de la production, le procédé est alors perturbé et il se produit habituellement un déversement de lessive noire dans l'égout. Les copeaux de taille appropriée sont séparés par tri mécanique des copeaux désagrégés et des éclats. Ceux qui sont utilisables franchissent une grille tandis que les autres sont retenus puis rejetés sur un convoyeur qui les entraîne jusqu'à une autre coupeuse à lames. Très souvent, les copeaux sont soumis à un nettoyage à l'air, à un autre dégrillage ou à un lavage afin d'enlever les poussières et les copeaux trop petits.

Dans certains cas, les copeaux trop petits peuvent quand même être traités (habituellement dans des lessiveurs en discontinu), mais ils servent le plus souvent de combustible. Le déchiquetage n'occasionne pas beaucoup de pollution.

4.5 Rejets d'effluents

Les installations de manutention et d'écorçage complètement à sec ne produisent habituellement pas d'effluent. Les systèmes humides consomment ordinairement 2000 l/minute et par tambour et les goulottes, de 20 000 à 150 000 l/minute. La recirculation réduit l'effluent à environ 10 000 litres par tonne de bois séché au four. Dans certaines installations, le volume de l'effluent peut être inférieur à 1000 litres par tonne de bois séché au four grâce à l'emploi d'épurateurs centrifuges pour l'eau recirculée. Toutefois, l'entretien coûte cher, principalement à cause du sable, des matières abrasives dans l'eau et des acides organiques.

Un atelier de préparation humide du bois qui assure une assez bonne récupération de l'écorce déverse environ 40 kg de matières solides en suspension par tonne de bois séché au four. La majeure partie de ces rejets est constituée de matières organiques et, en principe, peut être brûlée, mais les difficultés de récupération et de déshydratation de ces matières restreignent cette possibilité. Quand existe un clarificateur pour traiter cet effluent (figure 6), le rejet de matières solides en suspension tombe à environ 3 kg par tonne de bois séché au four.

Les rejets de DBO varient considérablement; leur quantité a rarement été mesurée mais on sait qu'elle peut atteindre 8 kg par tonne de bois séché au four. Quand on étudie les données sur l'effluent de l'atelier de préparation du bois, il faut tenir compte du

fait qu'une partie de la DBO provient d'un effluent réemployé. Les extraits de soude caustique dans les ateliers de blanchiment et l'eau blanche des papeteries sont souvent employés et peuvent porter la DBO dans l'effluent de l'atelier de préparation à 15 kg/t de bois. Compte tenu du débit important et de l'emploi de systèmes de dégrillage, les ateliers de préparation par voie humide risquent toujours de provoquer des déversements dans l'égout par suite de pannes de l'équipement. La haute teneur en sel du bois transporté dans l'eau de mer soulève des difficultés d'entretien particulières qui nuisent à la fiabilité de l'équipement.

Il est parfois pratique de convertir des ateliers de préparation par voie humide au procédé à sec, même si cela signifie qu'il faut très souvent reconstruire et même allonger les tambours pour continuer à produire à plein régime.

4.6 Élimination de l'écorce et des déchets de bois

Dans les usines peu récentes, l'élimination de l'écorce représente un important problème; cependant, la montée du prix de pétrole a rendu les chaudières à copeaux intéressantes du point de vue économique.

Il y a des années déjà que les déchets d'écorce sont brûlés dans des chaudières spécialement conçues à cette fin, même si ces dernières ont un mauvais rendement thermique. L'écorce constitue un combustible de mauvaise qualité et peu onéreux; selon sa teneur en humidité, elle peut, seule ou avec de l'huile, du charbon ou du gaz servir de combustible pour produire de la vapeur. L'écorce arrachée à sec est le combustible le plus rentable dans un tel système.

Il faut d'abord déshydrater l'écorce enlevée à l'aide du procédé humide avant de la brûler. On emploie des presses pour l'assécher autant que possible (à environ 50 p. 100); le pressat (l'eau extraite) est repris dans le circuit d'eau de l'atelier de préparation. Bien qu'on ait brûlé autrefois de l'écorce peu déshydratée, il fallait lui adjoindre un combustible auxiliaire, habituellement de l'huile ou du gaz. Aujourd'hui, en raison du coût du combustible, il faut bien assécher toute l'écorce qu'on veut brûler. La technique est simple, mais l'équipement coûte cher (normalement, environ un million de dollars par presse) et il faut beaucoup d'entretien.

Quelques usines emploient maintenant du matériel capable de réduire la teneur en humidité à 10 p. 100.

Que les copeaux proviennent d'un procédé ou de l'autre, il faut être en mesure de les stocker pendant au moins plusieurs jours. Il faut alors penser à recueillir les eaux de

lessivage qui forment parfois un important effluent. Certaines usines se procurent parfois des copeaux et des résidus de bois à l'extérieur. Il faut alors beaucoup plus d'espace de stockage et les risques de lessivage sont plus grands.

La combustion sur lit fluidisé a été tentée. Bien qu'elle soit un moyen efficace pour éliminer l'écorce, le rendement thermique est limité et on a employé ces chaudières principalement pour produire de l'eau chaude par barbotage dans les gaz de combustion. Cependant, on peut habituellement produire de l'eau chaude à bien meilleur compte par l'exploitation d'autres sources de chaleur perdue dans l'usine. Très peu d'installations à lit fluidisé ont donc été construites. La pollution atmosphérique est minimale.

Les tentatives de compostage des copeaux ont eu peu de succès, sauf en climat chaud, parce que l'écorce est difficilement biodégradable. Certaines papeteries arrivent aussi à produire des panneaux de construction de qualité acceptable et qui contiennent jusqu'à 25 p. 100 d'écorce. L'emploi de l'écorce et des résidus de bois à cette fin est très limité.

4.7 Émissions atmosphériques

Les ateliers de préparation du bois libèrent de petites quantités de poussières arrachées à l'écorce par les systèmes mécaniques de manutention, spécialement par les convoyeurs pneumatiques. Il s'agit d'un simple problème de nettoyage sur place dans la plupart des cas, car les poussières retombent principalement sur la propriété, sauf quand une voie publique ou des résidences se trouvent à quelques centaines de mètres de l'usine.

5 DÉFIBRAGE

L'atelier de défibrage reçoit le bois provenant de l'atelier de préparation décrit au chapitre 4 et le transforme en pâte. On l'appelle souvent l'usine de pâte, ce qui prête à confusion, puisque ce terme peut s'appliquer aussi à l'ensemble des installations, qui comprend l'atelier de blanchiment, la salle des génératrices, etc., comme à différents ensembles d'ateliers comprenant l'équipement de fabrication de la pâte et quelques salles d'équipement connexe. Dans ce chapitre, par "atelier de défibrage" on entend l'appareil lui-même (le lessiveur, le broyeur ou le raffineur) et ses accessoires indispensables, notamment le circuit de lavage de la pâte quand il y a lieu.

Le but du défibrage est de détacher les fibres les unes des autres. Une fois séparées et ramollies, elles se prêtent beaucoup mieux aux opérations de papeterie. La réduction en pâte est opérée mécaniquement ou chimiquement, ou selon les deux procédés ensemble. En gros, on peut dire que le bois confié à l'atelier de défibrage contient environ 45 p. 100 de fibres cellulosiques, 20 à 30 p. 100 de lignine, 5 p. 100 de matières extractibles et environ 25 p. 100 d'hémicellulose. Avec les méthodes chimiques, on extrait la majeure partie des matières non fibreuses tandis qu'avec les procédés mécaniques, la majeure partie de la lignine et une bonne partie de l'hémicellulose restent dans les fibres. Toutes les substances extraites sont riches en DBO et quelques-unes sont toxiques pour les poissons.

Le rendement, dont on peut dire qu'il est le poids de pâte produite par unité de poids du bois séché au four, varie considérablement d'un procédé à l'autre. Il y a aussi des variations à l'intérieur d'un même procédé, selon l'essence choisie, la qualité recherchée et le degré de perfectionnement de la technique employée.

Avec les systèmes sans récupération des liqueurs épuisées et des matières solubles extraites du bois, la qualité de l'effluent est principalement fonction du rendement obtenu. La quantité de matières organiques produite par un procédé de défibrage est inversement proportionnelle à celle du rendement, de sorte qu'un système d'une efficacité de 90 p. 100 rejette deux fois plus de matières organiques qu'un système d'une efficacité de 95 p. 100. La charge en DBO est sensiblement proportionnelle au rejet des matières organiques pour un procédé donné et à l'intérieur de la plage fonctionnelle de rendement. Quand les liqueurs épuisées sont récupérées, la qualité de l'effluent dépend davantage de l'efficacité de la récupération que du rendement du défibrage. Le rendement typique des principaux procédés est indiqué dans le tableau 3.

TABLEAU 3 RENDEMENT TYPIQUE DES PROCÉDÉS DE DÉFIBRAGE

Pâte kraft écrue	50-55%
Pâte kraft blanchie	43-48%
À dissolution au sulfite	33-40%
Au sulfite à faible rendement	46-55%
Au sulfite à rendement moyen	55-65%
Au sulfite à haut rendement	65-80%
Pâte chimico-thermomécanique	80-90%
Pâte thermomécanique	91-95%
Pâte mécanique à la meule	94-96%

L'annexe C reprend en détail la chimie du bois. Le tableau 4 donne un aperçu des grandes propriétés des pâtes employées pour la fabrication du papier journal et de papiers de qualité comparable.

5.1 Défibrage mécanique

La réduction mécanique en pâte peut atteindre un rendement supérieur à 80 p. 100. Sachant que les meilleures pâtes requièrent l'application de pressions supérieures, donc d'une plus grande quantité d'énergie, la principale caractéristique déterminant la qualité d'une pâte fabriquée à partir d'une essence donnée est l'énergie spécifique (GJ/t de pâte) consommée durant le défibrage.

5.1.1 Pâte mécanique à la meule et pâte mécanique sous pression. - Autrefois, on employait une meule qui tournait et restait mouillée (figure 7), et sur laquelle les billes étaient poussées. La figure 8 présente le schéma d'écoulement d'un système typique de défibrage mécanique.

Le bois est transformé en fibres macérées. L'eau refroidit, nettoie et lubrifie la meule et sert à l'enlèvement de la pâte. Les facteurs qui influent sur la qualité sont l'essence, l'origine, l'âge et la teneur en humidité du bois, ainsi que l'état de la surface de la meule, sa vitesse de rotation, la pression et la température de broyage. L'épinette, le sapin baumier, le pin gris, la pruche de l'Ouest, le peuplier et différents bois durs sont les plus employés. La pâte d'épinette noire est blanche et de très bonne qualité, tandis que

TABLEAU 4 CARACTÉRISTIQUES COURANTES DE LA PÂTE À PAPIER JOURNAL ET DE L'EFFLUENT[a]

	PM[b]	PMP	PR	PTM	PCTM	SHR	PKSB
Coefficient de rétention de l'eau (ml/pi^3)	100	100	100	100	350	500	500
Teneur en faisceaux (%)	1,6	1,4	1,2	0,4	0,3	0,3	
Bauer McNett +30 (%)	15	23	25	37	40	-	86
Bauer McNett 30-200 (%)	55	55	52	39	35	-	12
Bauer McNett -200 (%)	30	22	23	24	25	-	645
Longueur de rupture (m)	3 000	3 600	3 600	3 900	5 000	6 000	10 000
Indice de résistance à la déchirure ($mN.M^2/g$)	3,5	4,2	6,5	8	-	-	10,6
Dioxyde de soufre[c] (%)	0	0	0	0	2,5	5	S.O.
Énergie spécifique (GJ/t)	5	5	7	7	5	2,7	
Rendement[d] (%)	96	96	95	93	88	80	50
DBO (kg/t)	7-15	10-15	10-25	10-35	70	130	250[e]

a Les données n'ont qu'une valeur indicative. Elles sont basées sur plusieurs sources et valent pour différentes essences

b PM - Pâte mécanique classique
PMP - Pâte mécanique sous pression
PR - Pâte mécanique de raffineur
PTM - Pâte thermomécanique
PCTM - Pâte chimico-thermomécanique
SHR - Sulfite haut rendement
PKSB - Pâte kraft semi-blanchie

c Pour les quantités typiques de lessive employée

d Les données indiquant un rendement supérieur à 90 p. 100 doivent être considérées comme très approximatives étant donné que les techniques de mesure n'ont pas été uniformisées

e DBO avant toute récupération chimique. Après cette récupération, le résultat serait de l'ordre de 20 kg/t

celle du pin gris, qui contient davantage de poix, est plus foncée et convient moins bien à la fabrication du papier. La pâte de peuplier est très peu résistante, mais forme un papier beaucoup plus malléable et à bonnes caractéristiques de rétention de l'encre.

La pâte mécanique contient des éclats mesurant parfois un mètre de long, retenus sur un classeur à grosses mailles avant que la pâte ne soit acheminée à l'atelier de tamisage où son traitement est poursuivi. Les refus du tamis géant sont déchiquetés et repris dans le circuit de déchiquetage décrit au chapitre 6. La plupart des usines canadiennes de pâte mécanique ont été construites avant que ne soit pratiquée la récupération des refus des tamis. Les circuits de récupération ajoutés par la suite sont souvent mal situés et occasionnent des problèmes d'entretien. Faute de récupérer ces

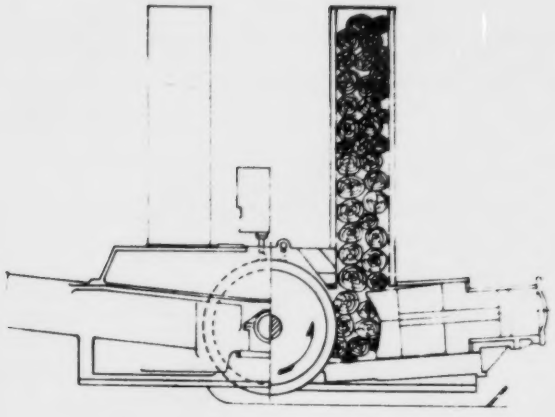

FIGURE 7 Défibreur à magasin

refus dans l'effluent primaire, on peut s'attendre à de graves difficultés de fonctionnement des clarificateurs en aval ou à un rejet d'effluents comprenant une énorme quantité de matières solides en suspension quand il n'y a pas de système de traitement primaire.

Les bois durs broyés par un procédé classique produisent une pâte peu résistante à fibres courtes et ils subissent parfois un prétraitement chimique; l'ensemble s'appelle alors le traitement chimico-mécanique. En prétraitement, les billes sont trempées dans une lessive composée de sulfite et de bicarbonate de soude, à pression et température élevées. Le rendement obtenu est légèrement inférieur à celui des procédés mécaniques classiques, et se situe normalement entre 85 et 90 p. 100. Ce procédé est très peu utilisé au Canada. La fabrication de pâte mécanique sous pression. récemment introduite en Amérique du Nord, est une modification du procédé classique sur meule. Le défibreur prend la forme d'un autoclave dans lequel est pratiqué le broyage sous une légère surpression. La pâte prend des propriétés intermédiaires entre celles de la pâte thermomécanique et de la pâte mécanique.

5.1.2 Pâte mécanique de raffineur. - Une variante de la pâte mécanique de meule a été introduite à la fin des années 1950 et on l'appelle la pâte mécanique de raffineur. Les copeaux sont transformés en pâte à mesure qu'ils franchissent des raffineurs à disque simple ou à deux disques en rotation et la pâte subit ensuite un traitement dans des épurateurs à centrifugation qui assurent le classement des fibres. La pâte destinée à des

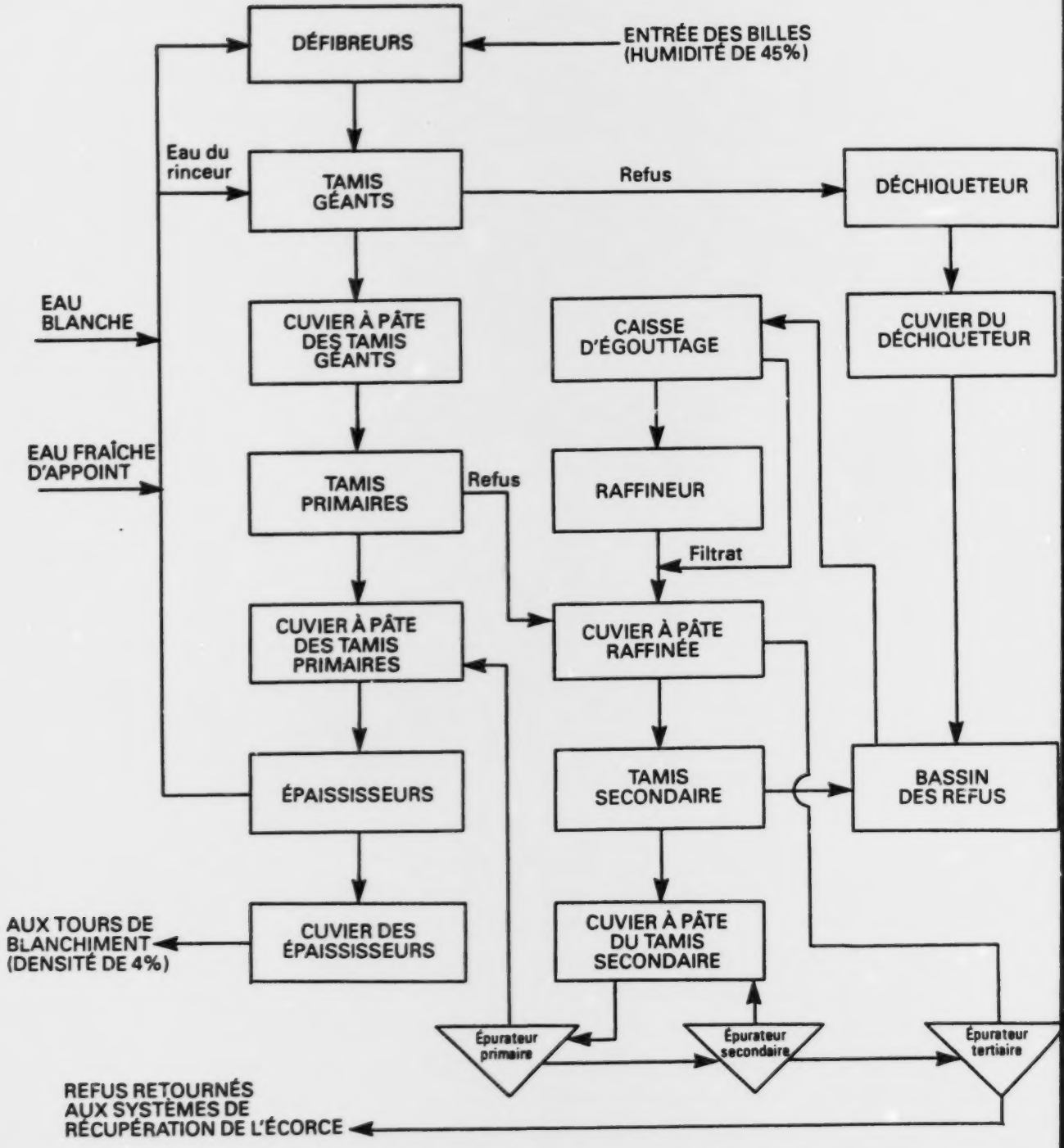

FIGURE 8 **Procédé classique de défibrage mécanique**

applications spéciales est parfois améliorée par prétraitement des copeaux. La figure 9 montre un raffineur typique à deux disques et une vue éclatée est présentée à la figure 27. La pâte obtenue par ce procédé est plus résistante que la pâte broyée à la meule et elle lui est supérieure pour la plupart des applications.

Les raffineurs ont pour avantage par rapport au procédé classique, d'employer des copeaux, y compris le bois de sectionnement produit dans les scieries, tandis que la meule traite des billes entières d'une longueur normale de 1,2 m. Le perfectionnement des raffineurs à disques a aussi permis d'employer les résidus des scieries comme la sciure et la chute de bois. La pâte formée à partir de sciure est de moins bonne qualité que celle formée à partir de copeaux, mais elle peut se comparer à la pâte mécanique classique.

Il s'est avéré que le défibrage dans les raffineurs consomme plus d'énergie qu'il n'était prévu; ce procédé a été largement remplacé par le défibrage thermomécanique.

5.1.3 Pâte thermomécanique. - La plupart des installations canadiennes de défibrage mécanique construites depuis 1973 fabriquent de la pâte thermomécanique (PTM). Dans ce procédé, les copeaux sont ramollis à la vapeur sous pression, sans emploi de produits chimiques, et sont ensuite défibrés dans un raffineur à disques sous pression. La pâte brute est ensuite traitée à nouveau dans un deuxième raffineur avant d'être dégrillée et épurée.

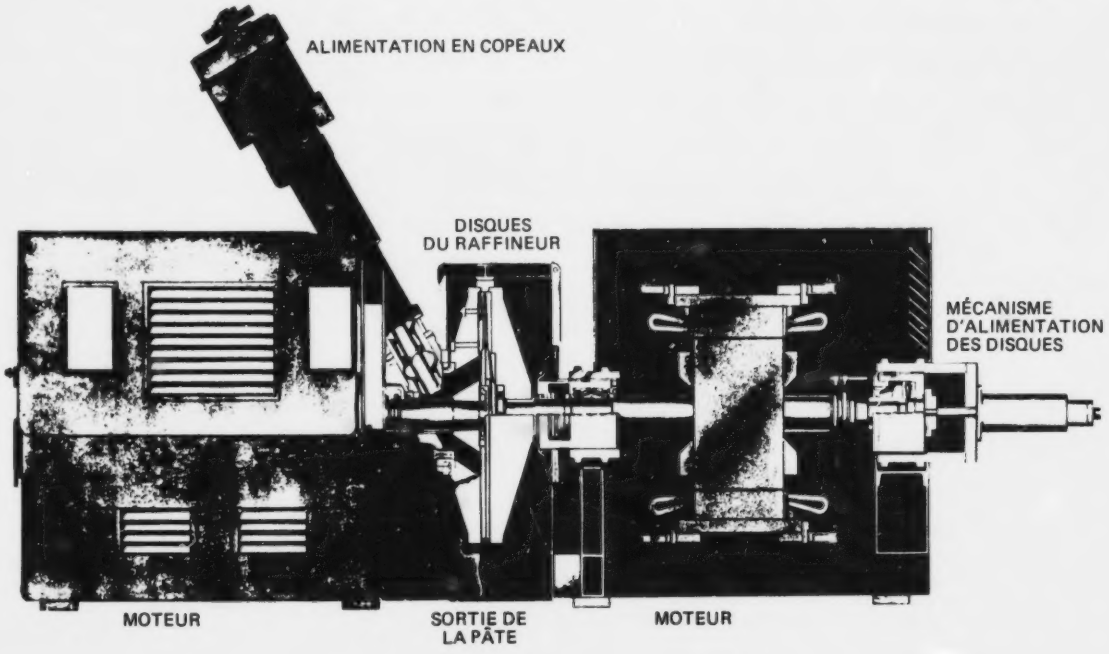

FIGURE 9 Raffineur à deux disques

Le conditionnement à la vapeur dure normalement 3 minutes environ et se fait à une pression de 150 à 200 kPa.

Le rendement de ce procédé est un peu inférieur à celui de la pâte mécanique, mais il donne une pâte dont la résistance et le comportement sur la machine de transformation sont nettement supérieurs. Il consomme aussi plus d'énergie que le procédé classique, bien que cela soit en partie compensé par le fait que jusqu'à 80 p. 100 de l'énergie peut être récupérée et utilisée sous forme de vapeur à faible pression pour le fonctionnement de la machine à papier. Il existe de ces circuits de récupération de la chaleur dans plusieurs usines et certains sont en cours de construction au Canada. La figure 10 donne le schéma d'écoulement typique d'un circuit unique de PTM.

Les disques en acier des raffineurs tournent à grande vitesse et à une fraction de millimètre l'un de l'autre et il est donc essentiel qu'il pénètre le moins possible de sable, de matière abrasive et d'éclats de métal dans ces appareils. La plupart des usines de pâte thermomécanique et de pâte mécanique raffinée ont installé en amont des raffineurs des laveurs de copeaux à l'eau pour déloger les corps étrangers et les éliminer par différence de densité et de taille. Presque toute l'eau employée est recyclée, mais avec normalement un peu d'effluent.

5.1.4 Pâte chimico-thermomécanique. - Certaines usines de PTM ajoutent du sulfite de sodium en petites quantités dans l'autoclave pour ramollir davantage les copeaux et obtenir une pâte finale de meilleure qualité; cependant, le rendement est légèrement plus faible et il y a un peu plus de matières organiques dans l'effluent.

Les usines de ce type seraient classées techniquement parmi les usines au sulfite à très haut rendement, mais les procédés qui emploient des "lessiveurs" avec un temps de contact de quelques minutes sous des pressions inférieures à environ 500 kPa, sont habituellement rangés parmi les procédés à pâte chimico-thermomécanique (PCTM).

Quelques entreprises produisent couramment du papier journal à partir de PTM seulement, sans addition de pâte chimique. D'autres produisent du papier journal et du papier de qualité semblable avec la PTM et de la pâte chimique ajoutée en très petites quantités. Qu'une usine puisse fabriquer du papier journal uniquement à partir de PTM dépend des machines à papier, des exigences des clients, de la qualité du bois et de l'habileté des opérateurs.

Les pressions exercées sur beaucoup de petites usines afin qu'elles éliminent ou qu'elles traitent l'effluent du défibrage au bisulfite, peut faire de la conversion à la PTM une alternative raisonnable. Normalement, cela signifie la construction de nouvelles

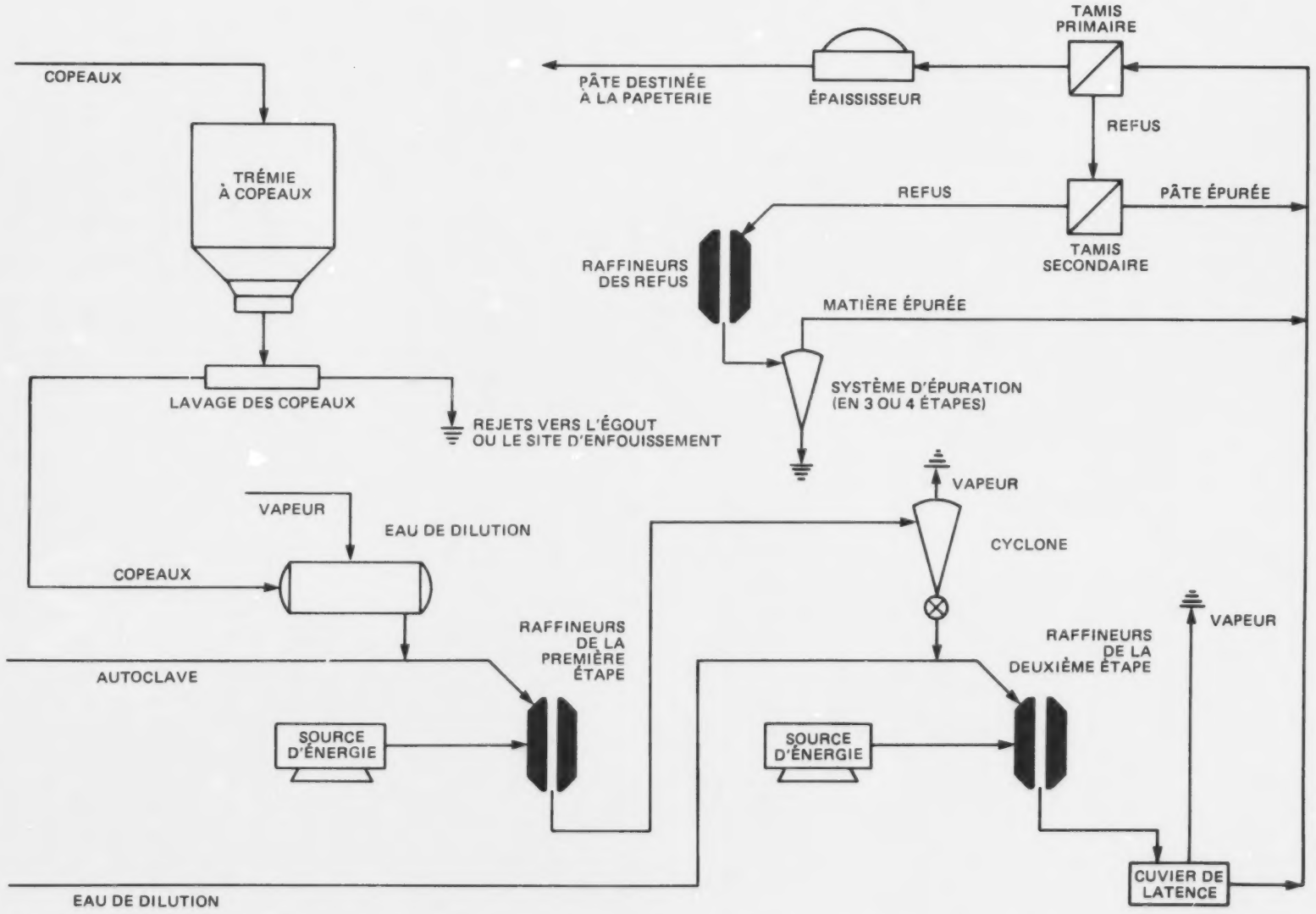

FIGURE 10 **Procédé thermomécanique classique**

installations autour de l'ancien atelier de préparation du bois, des machines à papier et des appareils accessoires, au coût de dizaines de millions de dollars. En plus de réduire la DBO dans l'effluent, la conversion à la PTM réduit les coûts de main-d'oeuvre, d'achat du bois et de produits chimiques. La qualité des produits peut aussi être améliorée.

5.1.5 Effluents. - Les figures 8 et 10 montrent que l'effluent constitué par les refus des épurateurs tertiaires et ceux du laveur de copeaux constituent les seules sources de fibres non utilisables et par conséquent, de matières solides en suspension dans l'effluent du système.

L'effluent transportant les refus du nettoyeur, qui peut correspondre à 1 p. 100 de la pâte produite, peut être minimisé si la conception du nettoyeur est bonne et si on en surveille le fonctionnement. Dans les usines produisant un tel effluent en quantité importante, une bonne partie des matières est constituée de fibres rejetées dans les refus avec la poussière. Chaque étape additionnelle de nettoyage par centrifugation diminue généralement les pertes de cette nature d'environ 60 p. 100 mais, évidemment, il faut que tout le sable, les poussières et les faisceaux (les petits fragments de bois) soient extraits de la pâte. Pour que le nettoyage soit efficace et les pertes faibles, il faut procéder à des opérations supplémentaires, mais celles-ci exigent beaucoup d'attention et d'entretien de la part des opérateurs, et les coûts tendent à devenir prohibitifs.

Normalement, le laveur de copeaux produit environ 5 kg de refus par tonne de pâte. L'élimination de cet effluent ne constitue maintenant qu'un problème assez secondaire d'élimination de matières solides lorsque les laveurs emploient des systèmes de recirculation très efficaces, bien que la question des coûts soit aussi importante que dans le cas des épurateurs.

Les refus de cette source et ceux des épurateurs sont assez facilement déshydratés et enfouis, soit directement, soit dans un système externe de traitement primaire des effluents. Cette technique est devenue pratique courante.

Une certaine quantité de fibres est continuellement emportée avec l'excès d'eau blanche des usines de pâte mécanique. Le débit d'eau blanche dépend de la conception de son réseau de transport dans l'usine et il varie le plus souvent entre 20 et 70 m^3 par tonne de pâte. La consistance de cet effluent dépend avant tout de la conception du ramasse-pâte/épaississeur. Quand ce dernier est assez moderne et de bonnes dimensions et qu'il ne produit pas de débordements d'eau blanche enrichie, il y a moins de 150 mg/l de fibres dans l'eau blanche diluée et pas plus de 60 mg/l dans certains cas, soit l'équivalent de 1,2 à

10 kg/t de pâte, ce qui est un très bon résultat par rapport aux règlements actuels sur les rejets de matières solides en suspension. La concentration de matières solides en suspension dans l'eau blanche à déverser dans l'égout peut souvent être diminuée grâce à quelques modifications apportées à l'épaississeur. Le volume d'eau blanche est souvent réduit par l'amélioration de son réseau de transport d'eau blanche dans l'usine. Essentiellement, toute l'eau douce employée par le procédé entre l'introduction des copeaux (ou les billes écorcées et nettoyées) et l'introduction de la feuille de papier dans le séchoir doit être rejetée à un stade ou un autre et, en particulier, à la sortie du réservoir de l'épaississeur. Cet apport limité d'eau est restreint par certains dispositifs de l'équipement dont il est question ailleurs dans le manuel et par la nécessité de ne pas trop concentrer les matières dissoutes, ce qui est fonction avant tout du rendement du défibrage et de la quantité d'eau blanche rejetée, selon un rapport presque inversement proportionnel. Il n'existe pas de concentration acceptable maximale bien définie et il faudra sans doute poursuivre les recherches en ce sens.

Des matières solides en suspension sont aussi déversées accidentellement dans les usines de pâte mécanique par suite d'une défaillance de l'équipement ou d'une erreur de jugement. Ces pertes varient beaucoup d'une usine à l'autre, mais se maintiennent généralement entre 7 et 50 kg/t de pâte produite. Le chapitre 14 examine les moyens de contrôle existants.

Dans toutes les fabriques de pâte mécanique, le bois dégage une certaine quantité de matières organiques solubles, principalement des extraits et des sucres, dont une petite partie est volatile. Les substances volatiles qui s'échappent des appareils avec la vapeur ont fait l'objet de différentes études qui ont établi que ces substances ont un effet négligeable sur l'environnement. Il n'existe pas de règlements à leur égard.

Cependant, les substances hydrosolubles ont un impact écologique. Le tableau 4 montre clairement que la DBO de l'effluent augmente lorsque le rendement diminue. Les degrés de toxicité ont été étudiés moins à fond; cependant, on sait que la toxicité tend à décroître lorsque le rendement augmente.

Le débit des effluents est fonction de la conception du procédé et dépend de la mesure dans laquelle le système d'eau blanche des usines de pâte mécanique est intégré aux systèmes des autres ateliers de pâte sur les lieux. Le volume typique est de 25 à 100 m^3 par tonne de pâte, y compris l'eau blanche en excès. Quelles que soient les mesures parmi celles mentionnées ci-dessus, qui sont appliquées afin de réduire le rejet de matières solides en suspension, pratiquement toutes les matières organiques dissoutes qui ont été arrachées au bois seront déversées dans l'égout. Il n'y a pas encore de façon

pratique et sûre de réduire cette source de pollution, bien que certaines études aient prouvé que dans les usines à faible consommation d'eau propre, la quantité de DBO rejetée est inférieure à ce qu'indique un bilan simple. Tous les effluents de l'usine de pâte mécanique peuvent être traités dans des installations classiques extérieures décrites au chapitre 13. Le chapitre 14 fait l'analyse des critères à considérer lors du choix de mesures externes ou internes.

5.1.6 Émissions atmosphériques et rejets de matières solides. - Les évents des raffineurs d'usines de PTM qui libèrent surtout de la vapeur avec une petite quantité de fibres constituent la seule source d'émissions de particules lors du défibrage mécanique. Tout problème de pollution atmosphérique causé par des émissions de particules se limite habituellement aux environs immédiats. Si la tendance manifestée par les fabriques de PTM à installer des systèmes de récupération de la chaleur s'accentue, cette source devrait disparaître.

Les refus des grilles, des piles et des épurateurs constituent les sources de résidus solides. Jusqu'à 5 kg par tonne de pâte de refus produits par les tamis géants peuvent être enfouis, mais la plupart du temps, ils sont raffinés et récupérés. Les laveurs de copeaux peuvent produire jusqu'à 5 kg/t de refus (principalement du sable et des matières abrasives), et les épurateurs peuvent donner de 5 à 20 kg/t de refus à enfouir, quand ils ne sont pas déversés dans les égouts.

5.2 Défibrage chimique (généralités)

Avec les procédés de défibrage chimique, les fibres sont séparées surtout par processus chimique et le rendement varie normalement entre 35 et 57 p. cent. Dans la plupart des qualités de pâte chimique, environ 95 p. 100 de la lignine est extraite lors du traitement.

Le défibrage au sulfite, à pH faible ou en milieu acide, et le procédé kraft alcalin sont les deux principaux procédés chimiques. La figure 11 offre une comparaison des pH et des agents chimiques utilisés pour le défibrage. On voit que le pH et que la composition chimique des différentes lessives possibles sont d'une grande diversité. Le soufre, l'oxygène et un alcali forment différents ions, selon le procédé employé. Les composés soufrés sont employés dans toute la plage de pH.

Les effets exercés par une hydrolyse acide et alcaline sont réduits quand le traitement est effectué avec un pH presque neutre, comme c'est le cas avec les procédés à haut rendement. À pH faible ou à pH élevé, les effets de l'hydrolyse sont très prononcés

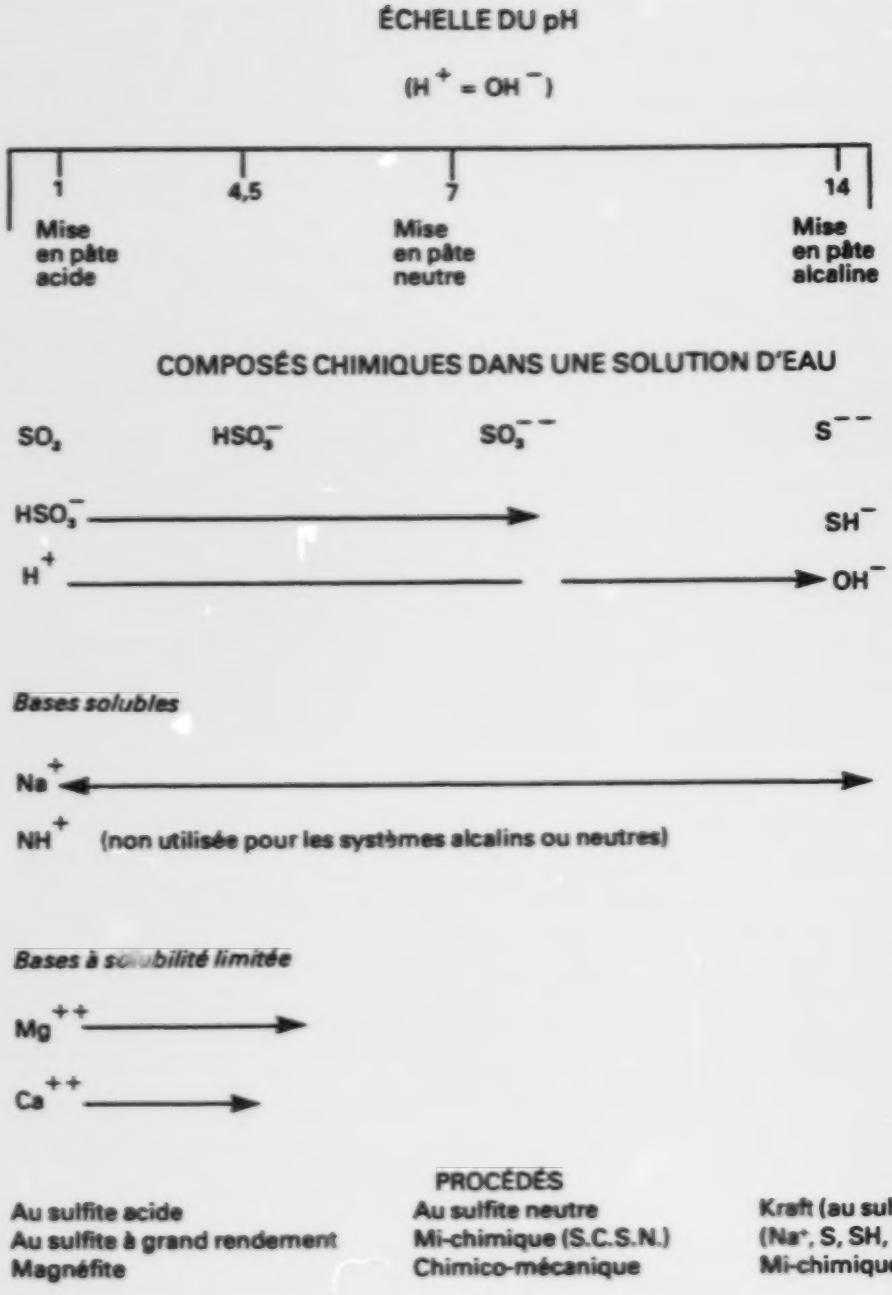

FIGURE 11 Conditions chimiques gouvernant les principaux procédés de réductions du bois en pâte chimique

parce qu'une bonne partie de l'hémicellulose à chaînes courtes est dissoute dans la lessive. Les bois qui contiennent beaucoup de résines et d'acides gras sont facilement réduits en pâte et solubilisés dans un milieu alcalin parce qu'il se produit des réactions du type saponification. Par ailleurs, les systèmes au sulfite donnent un rendement supérieur avec les bois contenant peu de résine ou de poix.

Les principales variables de la réduction en pâte sont :

- la composition de la lessive,
- le temps de cuisson,
- le pH,
- la pression à laquelle fonctionne le lessiveur, et
- la température à laquelle fonctionne le lessiveur.

Puisque la pression à l'intérieur du lessiveur est au point de saturation, sauf dans le cas du procédé acide au sulfite, la température de cuisson est normalement fonction de la pression. Du fait qu'il produit une pâte plus blanche et plus facilement blanchissable, le procédé au sulfite est resté la méthode de réduction en pâte chimique la plus usitée jusqu'à environ 1946, quand on parvint à blanchir la pâte kraft très foncée, sans que sa résistance en soit très amoindrie. De nos jours, presque toute la pâte chimique est produite grâce au procédé kraft. La différence des résultats selon les essences traitées et la difficulté de récupérer les liqueurs et de recycler les résidus, qui correspondent à la moitié du bois, sont les deux principales raisons qui expliquent la baisse de popularité du procédé au sulfite. Celui-ci et le procédé kraft seront étudiés séparément puis nous verrons le procédé qui allie la pâte mécanique à celle au bisulfite.

5.3 Préparation de la pâte kraft

Le procédé kraft, qu'on appelle aussi le procédé au sulfate, est maintenant le plus usité. Les techniques de récupération des produits chimiques et de blanchiment, mises au point durant les années 1930 et 1940, ainsi que la recherche et le développement incessants ont favorisé son emploi depuis 1950. Sa polyvalence et sa souplesse font qu'il peut convertir la plupart des essences végétales. Les extraits produits par certaines essences qui occasionnent des difficultés dans le procédé au sulfite, comme la poix, sont dissous ou dispersés par la lessive alcaline. Une bonne partie des hydrates de carbone qui ont tendance à se décomposer en milieu acide restent stables dans le procédé kraft à milieu alcalin. La cuisson assez rapide et la bonne résistance de la pâte constituent des avantages supplémentaires. Les principaux inconvénients sont dus à la couleur foncée de la pâte écrue et au coût du blanchiment. Une quantité assez importante de lignine

condensée résiduelle reste dans la pâte et ne peut être extraite en prolongeant la cuisson sans qu'il ne se produise une importante décomposition de la fraction constituée par les hydrates de carbone. Cette lignine résiduelle est responsable de la couleur foncée de la pâte écrue et elle est beaucoup moins extractible par blanchiment que la lignine contenue dans les pâtes au bisulfite. On a recours au blanchiment en plusieurs étapes pour contrer cet inconvénient, comme nous l'avons décrit au chapitre 7.

5.3.1 Description du procédé. - Pour la préparation de pâte kraft, on emploie une solution alcaline appellée lessive blanche et qui a en général une teneur d'environ 10 p. 100 en Na_2S et en NaOH pour délignifier le bois et le réduire en pâte. La figure 12 illuste le caractère cyclique de ce procédé. Les liqueurs épuisées de la cuisson, qu'on appelle la liqueur noire, sont séparées de la pâte après le lessivage et traitées dans un circuit de récupération des produits chimiques. Ce dernier régénère les agents de cuisson de Na_2S et de NaOH tout en récupérant l'énergie thermique du résidu organique pour produire de la vapeur employée dans le procédé. Le circuit de récupération des produits chimiques est décrit dans un chapitre distinct. Le tableau 5 montre la composition typique de la liqueur noire de pâte kraft. Les valeurs réelles peuvent varier selon l'essence, la technique de lessivage et les méthodes de dosage.

La cuisson peut se faire en continu ou en discontinu. Quand elle est continuelle, formule retenue dans la majorité des nouvelles usines, les copeaux sont habituellement préchauffés dans un autoclave avant d'être introduits dans le lessiveur. Cette opération permet de chasser l'air, les gaz non condensables et les substances volatiles comme les terpènes. Une fois dans le lessiveur, les copeaux sont imprégnés de liqueur à une température choisie pour assurer l'imprégnation uniforme des copeaux. Cette étape franchie, la température est portée pendant environ une heure à une température de cuisson d'environ 165 °C par chauffage indirect de la liqueur qu'on fait circuler. La pâte est ensuite ramenée à environ 125 °C avec la liqueur de lavage.

Dans la plupart des cas, on pratique un lavage au diffuseur dans le bas du lessiveur, ce qui permet d'extraire une forte proportion des agents chimiques épuisés. La température de lavage dans cette zone est de 80 à 85 °C, ce qui permet de purger les fibres sans trop les endommager. La figure 13 présente le schéma d'un lessiveur du type Kamyr à fonctionnement continu.

Dans la cuisson en discontinu, les copeaux et la lessive sont introduits dans le lessiveur qui est alors fermé et porté à la pression et à la température prévues de fonctionnement selon une séquence prédéterminée. Le plus souvent, on chauffe le

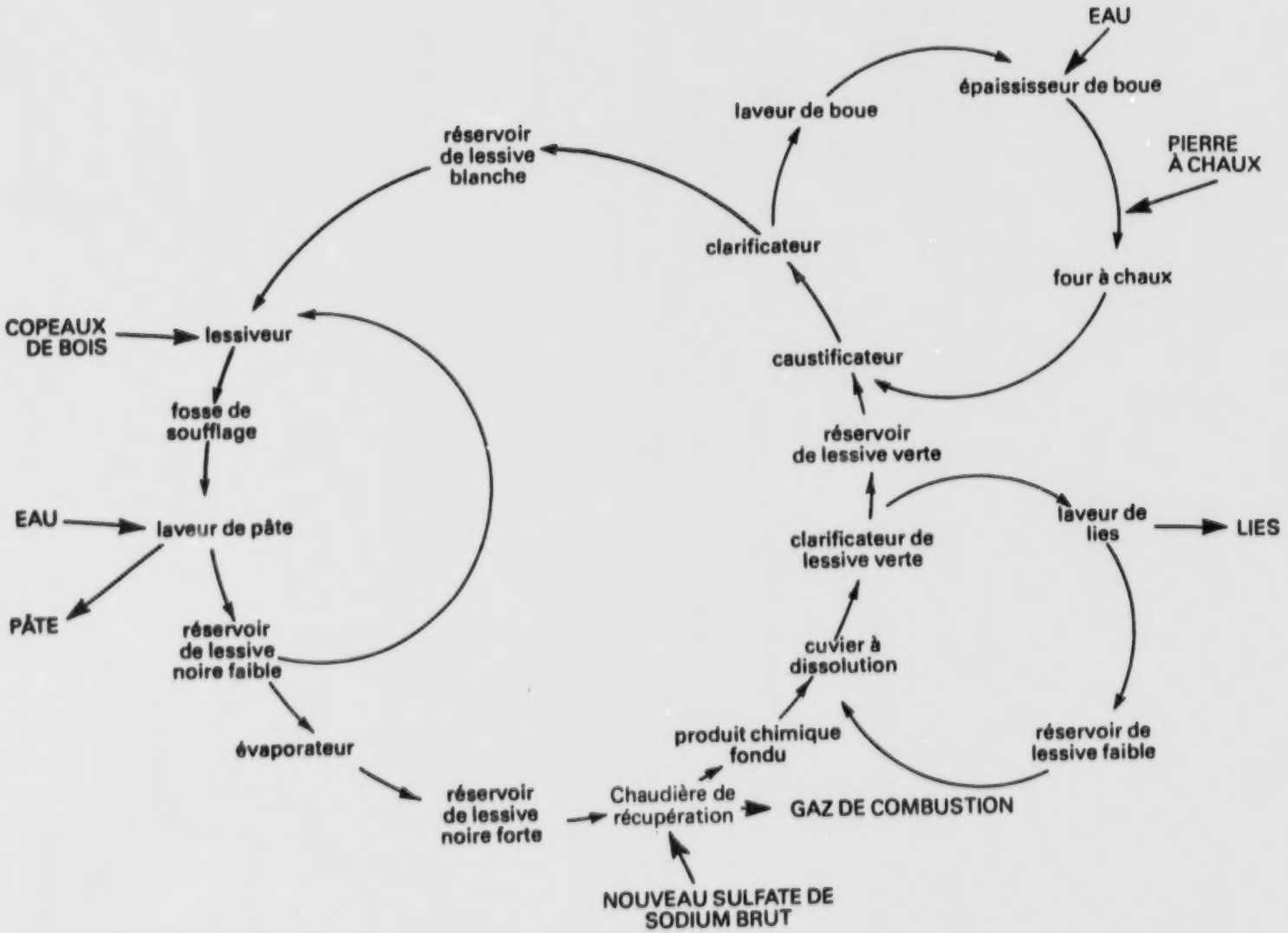

FIGURE 12 Caractère cyclique du procédé de pâte kraft et récupération des produits chimiques

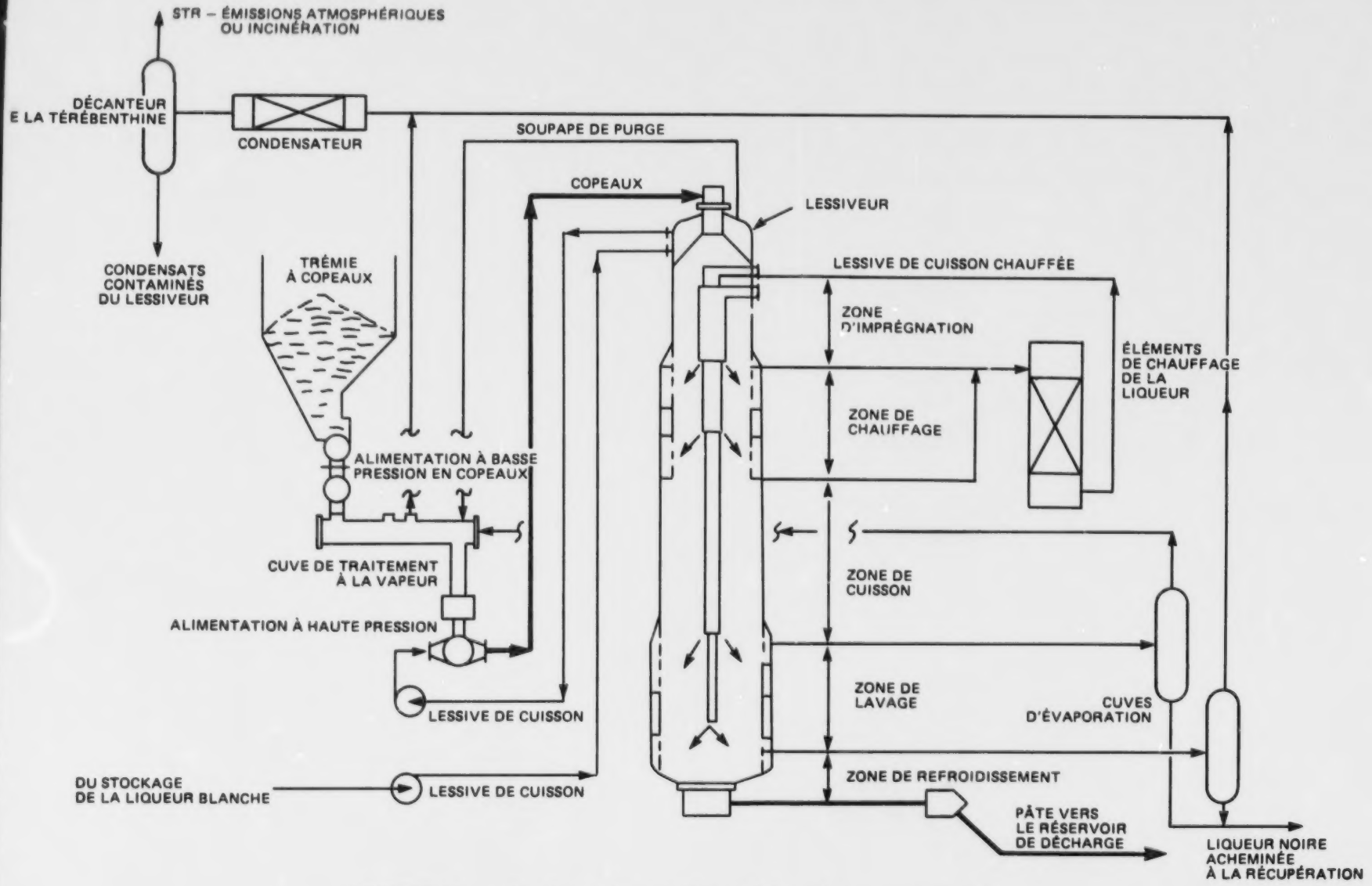

FIGURE 13 **Lessiveur de type Kamyr à fonctionnement continu**

TABLEAU 5 ANALYSE DE LA LIQUEUR NOIRE TYPE

	Pourcentage des matières solides sèches		
	Pin (usine 1)	Pin (usine 2)	Épinette
Lignine	28,9	31,1	41
Hémicellulose et sucres	1,1	1,3	-
Extraits	6,7	5,7	4
Acides sacchariniques		18,8	28
Acide acétique	3,5	5,2	5
Acide formique	4,5	3,1	3
Autres acides organiques	5,5		-
Méthanol			1
Substances organiques inconnues	19,0	5,8	
Sels minéraux	18,6	20,3	
Na organique	10,1	8,7	
Composés inorganiques inconnus	2,1		
Soufre, S			3
Sodium, Na			16

Nota: Ces données ont été résumées à partir de comptes rendus présentés lors du symposium de l'EUCEPA (Comité européen pour la cellulose et le papier) sur la récupération des produits chimiques employés pour le défibrage, Helsinki (1968).

lessiveur en ajoutant directement de la vapeur, mais une partie ou même tout le chauffage peut être effectué en récupérant la liqueur, en la chauffant indirectement à la vapeur dans un échangeur de chaleur, et en la recirculant dans le lessiveur. L'opération terminée, la pâte est chassée dans un réservoir de décharge où elle est diluée avec la liqueur noire et ensuite, pompée jusqu'à l'atelier de lavage. La figure 14 montre un système typique de cuisson en discontinu.

Les terpènes et les autres constituants volatils sont distillés durant les premiers stades de la cuisson et doivent être chassés. La pression maximale de cuisson, le plus souvent de l'ordre de 600 kPa, est atteinte en 1 à 3 heures; le cycle complet, depuis le chargement jusqu'à la purge, ainsi que la préparation d'un autre lot, prend environ 4 heures.

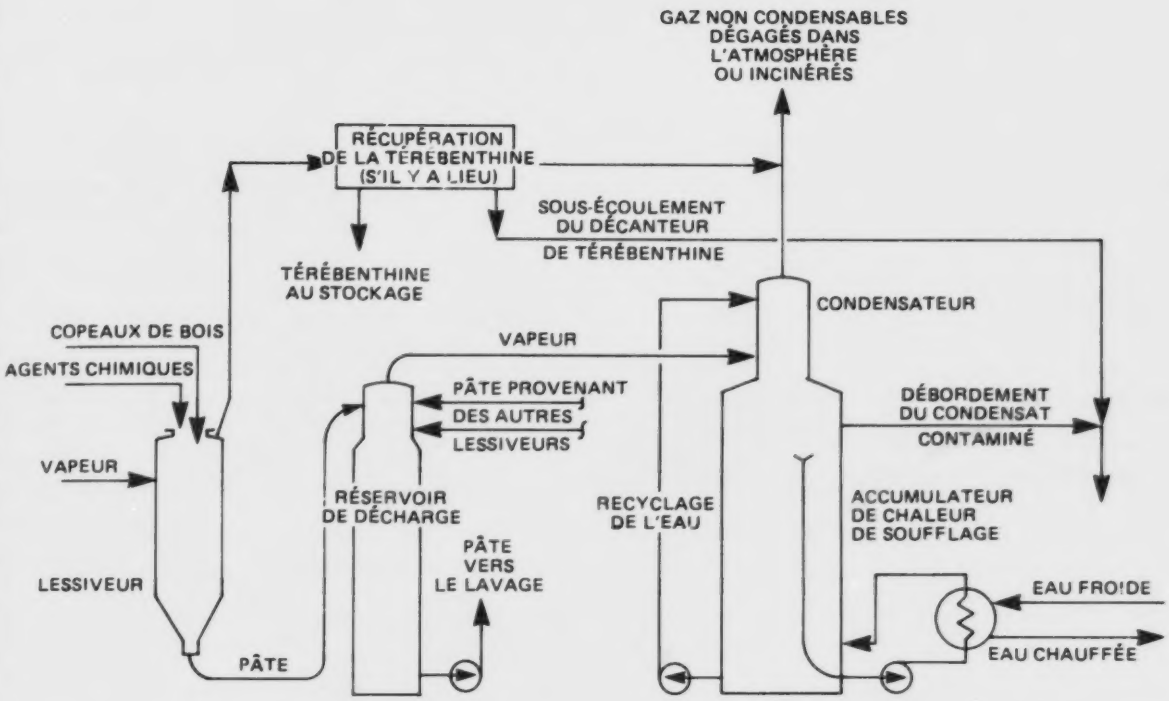

FIGURE 14 **Circuit typique d'un lessiveur en discontinu**

Les expressions comme "alcali actif", "alcali efficace" et "sulfidité", etc., sont couramment employés dans les usines de pâte kraft pour décrire la composition chimique des lessives. Il est aussi pratique courante d'exprimer les quantités des divers composés sodés par leur poids équivalent en oxyde de sodium (Na_2O). En réalité, le composé Na_2O n'existe pas dans la lessive et il est employé pour des raisons de commodité. Le tableau 6 donne la liste de ces expressions et définitions.

5.3.2 Lavage de la pâte brune. - La pâte du réservoir de décharge est intimement mélangée à la liqueur noire et doit en être extraite. Cette opération s'appelle le lavage de la pâte brune parce qu'autrefois elle avait pour objectif premier d'extraire la liqueur noire de la pâte. Cependant, avec le coût de l'énergie et les contraintes environnementales des années 1980, il est maintenant essentiel de donner pour but à cette opération de séparer les fibres constituant la pâte des matières solides de la liqueur noire en ajoutant aussi peu d'eau que possible.

TABLEAU 6 DÉFINITIONS NORMALISÉES DANS L'INDUSTRIE DE LA PÂTE KRAFT (toutes les quantités sont exprimées en Na_2O)

Expression	Définition
Produits chimiques totaux	Tous les sels de sodium sont exprimés en Na_2O (à l'exception du NaCl)
Alcali actif	$NaOH + Na_2S$
Alcali efficace	$NaOH + 1/2\ Na_2S$
Sulfidité	$\frac{Na_2S}{NaOH + Na_2S} \times 100$
Alcalis totaux	$NaOH + Na_2S + Na_2CO_3 + Na_2SO_4$
Alcalis totaux titrables	$NaOH + Na_2CO_3 + Na_2S$
Causticité	$\frac{NaOH}{NaOH + Na_2CO_3} \times 100$
Activité	$\frac{NaOH + Na_2S}{NaOH + Na_2S + Na_2CO_3} \times 100$

Par convention, le rendement est évalué en fonction de la perte de soude, c'est-à-dire d'après la concentration de sulfate de sodium qui reste dans la pâte après le dernier lavage; le résultat est normalement exprimé en kg de Na_2SO_4 par tonne de pâte séchée au four. La plupart du temps, la quantité de matières organiques n'est pas mesurée, mais elle est sensiblement proportionnelle à la perte de soude. (On l'exprime le plus souvent à l'état de Na_2SO_4, mais certains, notamment ceux qui préfèrent des valeurs de pertes qui semblent faibles, expriment les résultats en kg de Na_2O par tonne de pâte séchée au four. Il est essentiel de savoir avec quel système d'unités les pertes des piles laveuses ont été exprimées.)

Pratiquement toutes les matières organiques entraînées hors des piles laveuses avec la pâte sont rejetées dans l'effluent sous une forme ou sous une autre. La majeure partie est extraite de la pâte lors du lavage dans l'atelier d'épuration en aval et elle peut représenter jusqu'à 30 kg de DBO par tonne de pâte, dans les cas extrêmes. Ces matières organiques particulières contiennent des quantités importantes d'acides résiniques et d'autres grosses molécules toxiques pour les poissons et qui résistent au traitement

biologique; leurs effets sur la qualité de l'effluent final et le coût de leur traitement sont habituellement beaucoup plus importants que ne l'indiquerait la quantité correspondante de DBO.

Les matières solides résiduelles de la liqueur noire qui ne sont pas extraites de la pâte dans l'atelier d'épuration réagissent avec le chlore dans l'atelier de blanchiment situé en aval et sont déversées dans l'effluent sous forme de lignines chlorées. Dans les usines qui produisent de la pâte kraft écrue, cette liqueur noire résiduelle est en bonne partie extraite de la pâte dans la machine à papier ou dans les cyclindres sécheurs, et elle rejoint l'effluent de l'usine dans l'eau blanche en excès.

La quantité d'eau ajoutée dans le système pour assurer la séparation est exprimée par le facteur de dilution, qui est le rapport entre le débit massique de l'eau du rinceur qui ne sort pas avec la feuille de pâte et le débit massique de la pâte. Celui-ci est sans unités et il permet des comparaisons et des prévisions sur la performance des piles laveuses. Les rapports typiques sont de 2/1 à 4/1. Il faut contrôler avec soin la quantité d'eau de dilution apportée au lavage puisque non seulement elle agit sur l'efficacité de ce dernier, mais elle doit aussi être évaporée dans l'usine de récupération.

Le facteur de dilution et le nombre de stades de lavage sont les deux variables fondamentales qui déterminent l'efficacité du lavage. La configuration des lieux, la construction et l'exploitation de l'équipement ont aussi de l'importance et sont étudiées ci-dessous.

La teneur en matières dissoutes de la liqueur noire constitue également une variable majeure qui agit sur la performance des circuits de lavage de la pâte brune; c'est ce qu'on appelle normalement dans l'industrie "la consistance".

Dans tout système donné, la perte de soude est réduite quand le facteur de dilution est accru. Cependant, le volume se trouve ainsi augmenté et la consistance de la liqueur noire est abaissée, ce qui rend nécessaire un stade d'évaporation, c'est-à-dire des frais pour l'achat d'évaporateurs et de chaudières de récupération ainsi que des coûts de consommation d'énergie.

Il est également possible d'augmenter l'efficacité du lavage en augmentant le nombre d'étapes ou en employant un meilleur équipement, encore une fois au prix de nouveaux investissements et de frais d'entretien. Toutefois, il n'y a généralement pas d'augmentation importante de la consommation d'énergie; dans beaucoup de cas, on obtient une réduction nette de la consommation en ayant un stade supplémentaire de lavage.

Le conditionnement à la vapeur dure normalement 3 minutes environ et se fait à une pression de 150 à 200 kPa.

Le rendement de ce procédé est un peu inférieur à celui de la pâte mécanique, mais il donne une pâte dont la résistance et le comportement sur la machine de transformation sont nettement supérieurs. Il consomme aussi plus d'énergie que le procédé classique, bien que cela soit en partie compensé par le fait que jusqu'à 80 p. 100 de l'énergie peut être récupérée et utilisée sous forme de vapeur à faible pression pour le fonctionnement de la machine à papier. Il existe de ces circuits de récupération de la chaleur dans plusieurs usines et certains sont en cours de construction au Canada. La figure 10 donne le schéma d'écoulement typique d'un circuit unique de PTM.

Les disques en acier des raffineurs tournent à grande vitesse et à une fraction de millimètre l'un de l'autre et il est donc essentiel qu'il pénètre le moins possible de sable, de matière abrasive et d'éclats de métal dans ces appareils. La plupart des usines de pâte thermomécanique et de pâte mécanique raffinée ont installé en amont des raffineurs des laveurs de copeaux à l'eau pour déloger les corps étrangers et les éliminer par différence de densité et de taille. Presque toute l'eau employée est recyclée, mais avec normalement un peu d'effluent.

5.1.4 Pâte chimico-thermomécanique. - Certaines usines de PTM ajoutent du sulfite de sodium en petites quantités dans l'autoclave pour ramollir davantage les copeaux et obtenir une pâte finale de meilleure qualité; cependant, le rendement est légèrement plus faible et il y a un peu plus de matières organiques dans l'effluent.

Les usines de ce type seraient classées techniquement parmi les usines au sulfite à très haut rendement, mais les procédés qui emploient des "lessiveurs" avec un temps de contact de quelques minutes sous des pressions inférieures à environ 500 kPa, sont habituellement rangés parmi les procédés à pâte chimico-thermomécanique (PCTM).

Quelques entreprises produisent couramment du papier journal à partir de PTM seulement, sans addition de pâte chimique. D'autres produisent du papier journal et du papier de qualité semblable avec la PTM et de la pâte chimique ajoutée en très petites quantités. Qu'une usine puisse fabriquer du papier journal uniquement à partir de PTM dépend des machines à papier, des exigences des clients, de la qualité du bois et de l'habileté des opérateurs.

Les pressions exercées sur beaucoup de petites usines afin qu'elles éliminent ou qu'elles traitent l'effluent du défibrage au bisulfite, peut faire de la conversion à la PTM une alternative raisonnable. Normalement, cela signifie la construction de nouvelles

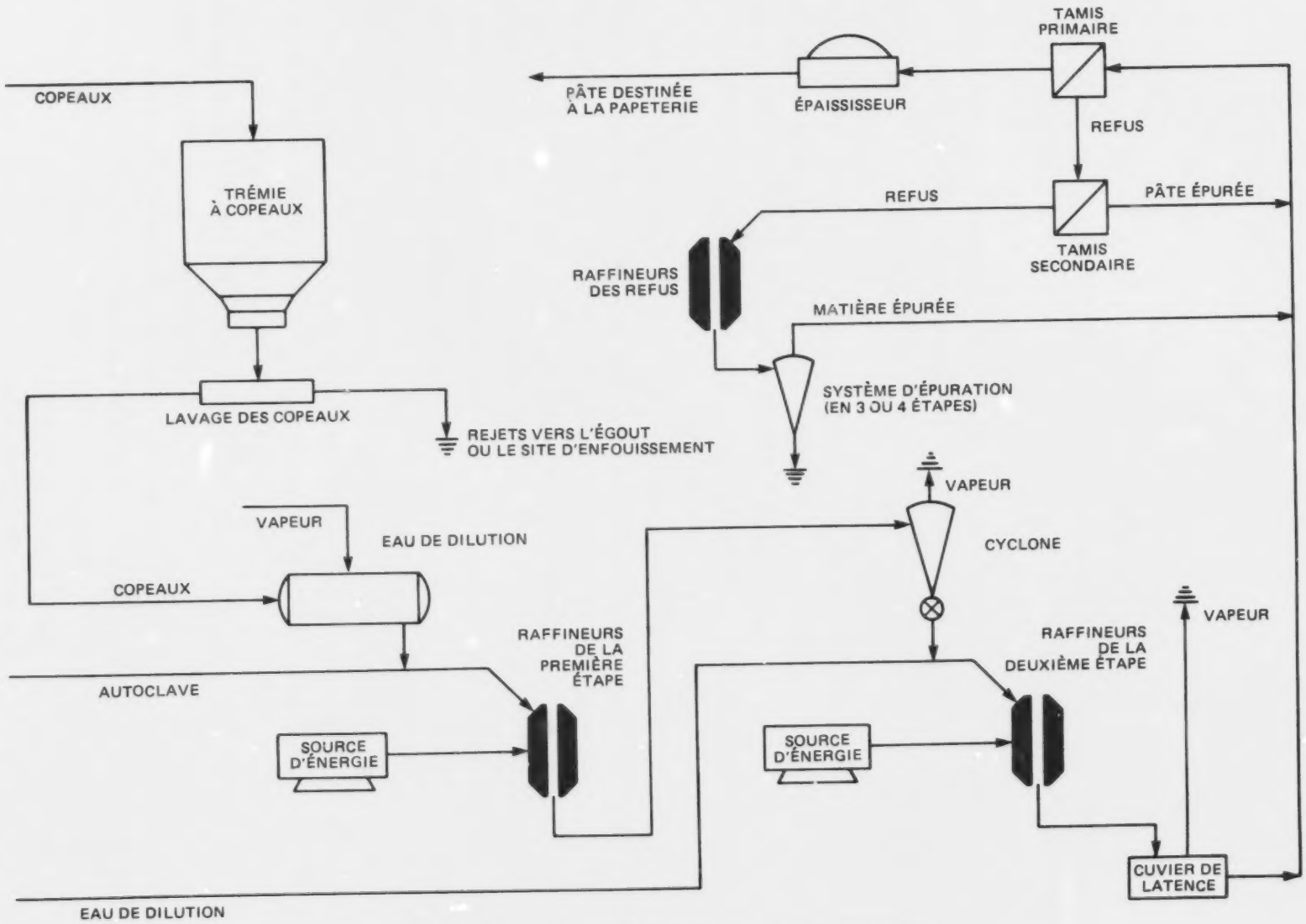

FIGURE 10 **Procédé thermomécanique classique**

installations autour de l'ancien atelier de préparation du bois, des machines à papier et des appareils accessoires, au coût de dizaines de millions de dollars. En plus de réduire la DBO dans l'effluent, la conversion à la PTM réduit les coûts de main-d'oeuvre, d'achat du bois et de produits chimiques. La qualité des produits peut aussi être améliorée.

5.1.3 Effluents. - Les figures 8 et 10 montrent que l'effluent constitué par les refus des épurateurs tertiaires et ceux du laveur de copeaux constituent les seules sources de fibres non utilisables et par conséquent, de matières solides en suspension dans l'effluent du système.

L'effluent transportant les refus du nettoyeur, qui peut correspondre à 1 p. 100 de la pâte produite, peut être minimisé si la conception du nettoyeur est bonne et si on en surveille le fonctionnement. Dans les usines produisant un tel effluent en quantité importante, une bonne partie des matières est constituée de fibres rejetées dans les refus avec la poussière. Chaque étape additionnelle de nettoyage par centrifugation diminue généralement les pertes de cette nature d'environ 60 p. 100 mais, évidemment, il faut que tout le sable, les poussières et les faisceaux (les petits fragments de bois) soient extraits de la pâte. Pour que le nettoyage soit efficace et les pertes faibles, il faut procéder à des opérations supplémentaires, mais celles-ci exigent beaucoup d'attention et d'entretien de la part des opérateurs, et les coûts tendent à devenir prohibitifs.

Normalement, le laveur de copeaux produit environ 5 kg de refus par tonne de pâte. L'élimination de cet effluent ne constitue maintenant qu'un problème assez secondaire d'élimination de matières solides lorsque les laveurs emploient des systèmes de recirculation très efficaces, bien que la question des coûts soit aussi importante que dans le cas des épurateurs.

Les refus de cette source et ceux des épurateurs sont assez facilement déshydratés et enfouis, soit directement, soit dans un système externe de traitement primaire des effluents. Cette technique est devenue pratique courante.

Une certaine quantité de fibres est continuellement emportée avec l'excès d'eau blanche des usines de pâte mécanique. Le débit d'eau blanche dépend de la conception de son réseau de transport dans l'usine et il varie le plus souvent entre 20 et 70 m^3 par tonne de pâte. La consistance de cet effluent dépend avant tout de la conception du ramasse-pâte/épaississeur. Quand ce dernier est assez moderne et de bonnes dimensions et qu'il ne produit pas de débordements d'eau blanche enrichie, il y a moins de 150 mg/l de fibres dans l'eau blanche diluée et pas plus de 60 mg/l dans certains cas, soit l'équivalent de 1,2 à

10 kg/t de pâte, ce qui est un très bon résultat par rapport aux règlements actuels sur les rejets de matières solides en suspension. La concentration de matières solides en suspension dans l'eau blanche à déverser dans l'égout peut souvent être diminuée grâce à quelques modifications apportées à l'épaississeur. Le volume d'eau blanche est souvent réduit par l'amélioration de son réseau de transport d'eau blanche dans l'usine. Essentiellement, toute l'eau douce employée par le procédé entre l'introduction des copeaux (ou les billes écorcées et nettoyées) et l'introduction de la feuille de papier dans le séchoir doit être rejetée à un stade ou un autre et, en particulier, à la sortie du réservoir de l'épaississeur. Cet apport limité d'eau est restreint par certains dispositifs de l'équipement dont il est question ailleurs dans le manuel et par la nécessité de ne pas trop concentrer les matières dissoutes, ce qui est fonction avant tout du rendement du défibrage et de la quantité d'eau blanche rejetée, selon un rapport presque inversement proportionnel. Il n'existe pas de concentration acceptable maximale bien définie et il faudra sans doute poursuivre les recherches en ce sens.

Des matières solides en suspension sont aussi déversées accidentellement dans les usines de pâte mécanique par suite d'une défaillance de l'équipement ou d'une erreur de jugement. Ces pertes varient beaucoup d'une usine à l'autre, mais se maintiennent généralement entre 7 et 50 kg/t de pâte produite. Le chapitre 14 examine les moyens de contrôle existants.

Dans toutes les fabriques de pâte mécanique, le bois dégage une certaine quantité de matières organiques solubles, principalement des extraits et des sucres, dont une petite partie est volatile. Les substances volatiles qui s'échappent des appareils avec la vapeur ont fait l'objet de différentes études qui ont établi que ces substances ont un effet négligeable sur l'environnement. Il n'existe pas de règlements à leur égard.

Cependant, les substances hydrosolubles ont un impact écologique. Le tableau 4 montre clairement que la DBO de l'effluent augmente lorsque le rendement diminue. Les degrés de toxicité ont été étudiés moins à fond; cependant, on sait que la toxicité tend à décroître lorsque le rendement augmente.

Le débit des effluents est fonction de la conception du procédé et dépend de la mesure dans laquelle le système d'eau blanche des usines de pâte mécanique est intégré aux systèmes des autres ateliers de pâte sur les lieux. Le volume typique est de 25 à 100 m^3 par tonne de pâte, y compris l'eau blanche en excès. Quelles que soient les mesures parmi celles mentionnées ci-dessus, qui sont appliquées afin de réduire le rejet de matières solides en suspension, pratiquement toutes les matières organiques dissoutes qui ont été arrachées au bois seront déversées dans l'égout. Il n'y a pas encore de façon

pratique et sûre de réduire cette source de pollution, bien que certaines études aient prouvé que dans les usines à faible consommation d'eau propre, la quantité de DBO rejetée est inférieure à ce qu'indique un bilan simple. Tous les effluents de l'usine de pâte mécanique peuvent être traités dans des installations classiques extérieures décrites au chapitre 13. Le chapitre 14 fait l'analyse des critères à considérer lors du choix de mesures externes ou internes.

5.1.6 Émissions atmosphériques et rejets de matières solides. - Les évents des raffineurs d'usines de PTM qui libèrent surtout de la vapeur avec une petite quantité de fibres constituent la seule source d'émissions de particules lors du défibrage mécanique. Tout problème de pollution atmosphérique causé par des émissions de particules se limite habituellement aux environs immédiats. Si la tendance manifestée par les fabriques de PTM à installer des systèmes de récupération de la chaleur s'accentue, cette source devrait disparaître.

Les refus des grilles, des piles et des épurateurs constituent les sources de résidus solides. Jusqu'à 5 kg par tonne de pâte de refus produits par les tamis géants peuvent être enfouis, mais la plupart du temps, ils sont raffinés et récupérés. Les laveurs de copeaux peuvent produire jusqu'à 5 kg/t de refus (principalement du sable et des matières abrasives), et les épurateurs peuvent donner de 5 à 20 kg/t de refus à enfouir, quand ils ne sont pas déversés dans les égouts.

5.2 Défibrage chimique (généralités)

Avec les procédés de défibrage chimique, les fibres sont séparées surtout par processus chimique et le rendement varie normalement entre 35 et 57 p. cent. Dans la plupart des qualités de pâte chimique, environ 95 p. 100 de la lignine est extraite lors du traitement.

Le défibrage au sulfite, à pH faible ou en milieu acide, et le procédé kraft alcalin sont les deux principaux procédés chimiques. La figure 11 offre une comparaison des pH et des agents chimiques utilisés pour le défibrage. On voit que le pH et que la composition chimique des différentes lessives possibles sont d'une grande diversité. Le soufre, l'oxygène et un alcali forment différents ions, selon le procédé employé. Les composés soufrés sont employés dans toute la plage de pH.

Les effets exercés par une hydrolyse acide et alcaline sont réduits quand le traitement est effectué avec un pH presque neutre, comme c'est le cas avec les procédés à haut rendement. À pH faible ou à pH élevé, les effets de l'hydrolyse sont très prononcés

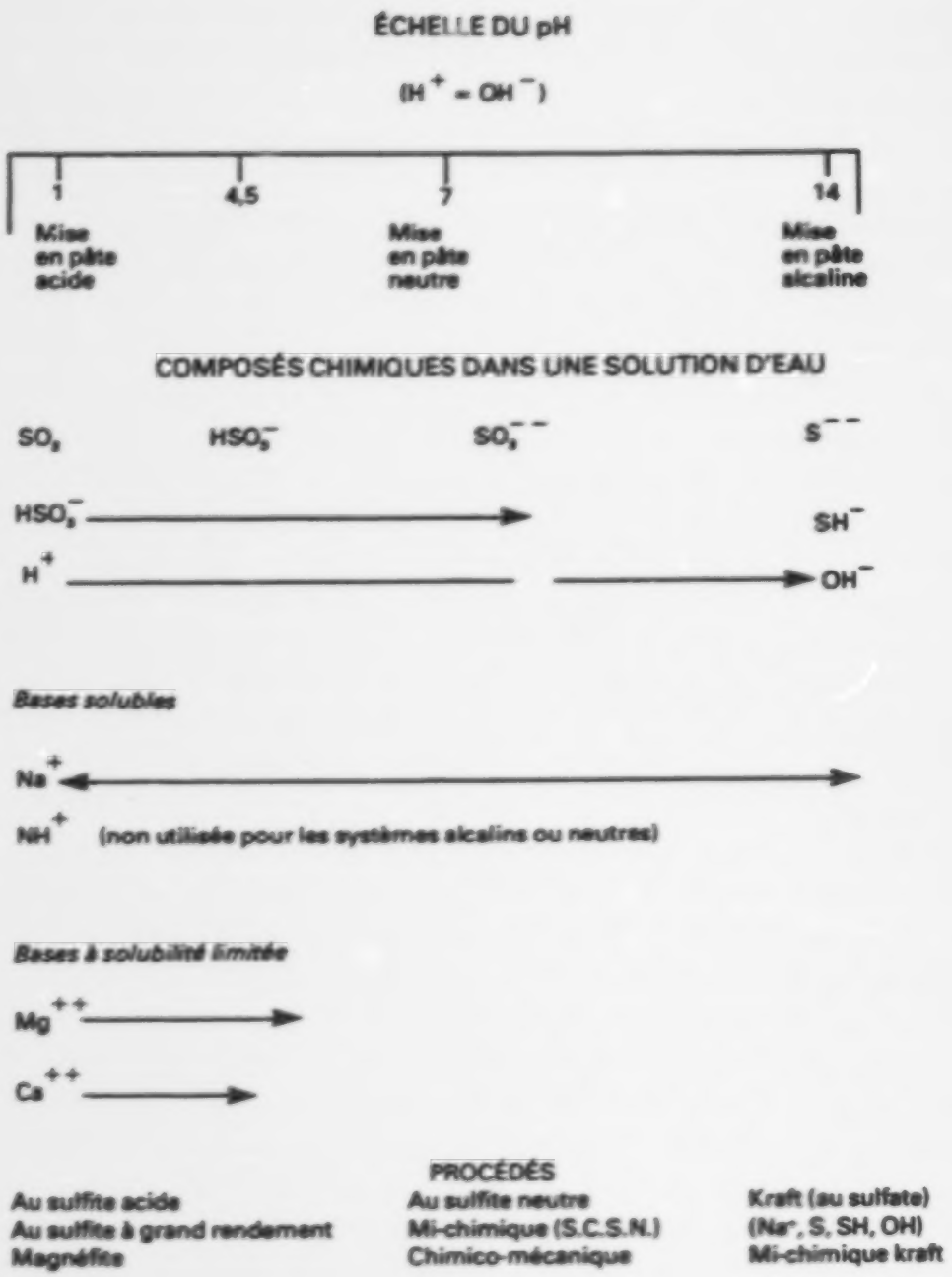

FIGURE 11 Conditions chimiques gouvernant les principaux procédés de réductions du bois en pâte chimique

parce qu'une bonne partie de l'hémicellulose à chaînes courtes est dissoute dans la lessive. Les bois qui contiennent beaucoup de résines et d'acides gras sont facilement réduits en pâte et solubilisés dans un milieu alcalin parce qu'il se produit des réactions du type saponification. Par ailleurs, les systèmes au sulfite donnent un rendement supérieur avec les bois contenant peu de résine ou de poix.

Les principales variables de la réduction en pâte sont :

- la composition de la lessive,
- le temps de cuisson,
- le pH,
- la pression à laquelle fonctionne le lessiveur, et
- la température à laquelle fonctionne le lessiveur.

Puisque la pression à l'intérieur du lessiveur est au point de saturation, sauf dans le cas du procédé acide au sulfite, la température de cuisson est normalement fonction de la pression. Du fait qu'il produit une pâte plus blanche et plus facilement blanchissable, le procédé au sulfite est resté la méthode de réduction en pâte chimique la plus usitée jusqu'à environ 1946, quand on parvint à blanchir la pâte kraft très foncée, sans que sa résistance en soit très amoindrie. De nos jours, presque toute la pâte chimique est produite grâce au procédé kraft. La différence des résultats selon les essences traitées et la difficulté de récupérer les liqueurs et de recycler les résidus, qui correspondent à la moitié du bois, sont les deux principales raisons qui expliquent la baisse de popularité du procédé au sulfite. Celui-ci et le procédé kraft seront étudiés séparément puis nous verrons le procédé qui allie la pâte mécanique à celle au bisulfite.

5.3 Préparation de la pâte kraft

Le procédé kraft, qu'on appelle aussi le procédé au sulfate, est maintenant le plus usité. Les techniques de récupération des produits chimiques et de blanchiment, mises au point durant les années 1930 et 1940, ainsi que la recherche et le développement incessants ont favorisé son emploi depuis 1950. Sa polyvalence et sa souplesse font qu'il peut convertir la plupart des essences végétales. Les extraits produits par certaines essences qui occasionnent des difficultés dans le procédé au sulfite, comme la poix, sont dissous ou dispersés par la lessive alcaline. Une bonne partie des hydrates de carbone qui ont tendance à se décomposer en milieu acide restent stables dans le procédé kraft à milieu alcalin. La cuisson assez rapide et la bonne résistance de la pâte constituent des avantages supplémentaires. Les principaux inconvénients sont dus à la couleur foncée de la pâte écrue et au coût du blanchiment. Une quantité assez importante de lignine

condensée résiduelle reste dans la pâte et ne peut être extraite en prolongeant la cuisson sans qu'il ne se produise une importante décomposition de la fraction constituée par les hydrates de carbone. Cette lignine résiduelle est responsable de la couleur foncée de la pâte écrue et elle est beaucoup moins extractible par blanchiment que la lignine contenue dans les pâtes au bisulfite. On a recours au blanchiment en plusieurs étapes pour contrer cet inconvénient, comme nous l'avons décrit au chapitre 7.

5.3.1 Description du procédé. - Pour la préparation de pâte kraft, on emploie une solution alcaline appellée lessive blanche et qui a en général une teneur d'environ 10 p. 100 en Na_2S et en NaOH pour délignifier le bois et le réduire en pâte. La figure 12 illuste le caractère cyclique de ce procédé. Les liqueurs épuisées de la cuisson, qu'on appelle la liqueur noire, sont séparées de la pâte après le lessivage et traitées dans un circuit de récupération des produits chimiques. Ce dernier régénère les agents de cuisson de Na_2S et de NaOH tout en récupérant l'énergie thermique du résidu organique pour produire de la vapeur employée dans le procédé. Le circuit de récupération des produits chimiques est décrit dans un chapitre distinct. Le tableau 5 montre la composition typique de la liqueur noire de pâte kraft. Les valeurs réelles peuvent varier selon l'essence, la technique de lessivage et les méthodes de dosage.

La cuisson peut se faire en continu ou en discontinu. Quand elle est continuelle, formule retenue dans la majorité des nouvelles usines, les copeaux sont habituellement préchauffés dans un autoclave avant d'être introduits dans le lessiveur. Cette opération permet de chasser l'air, les gaz non condensables et les substances volatiles comme les terpènes. Une fois dans le lessiveur, les copeaux sont imprégnés de liqueur à une température choisie pour assurer l'imprégnation uniforme des copeaux. Cette étape franchie, la température est portée pendant environ une heure à une température de cuisson d'environ 165 °C par chauffage indirect de la liqueur qu'on fait circuler. La pâte est ensuite ramenée à environ 125 °C avec la liqueur de lavage.

Dans la plupart des cas, on pratique un lavage au diffuseur dans le bas du lessiveur, ce qui permet d'extraire une forte proportion des agents chimiques épuisés. La température de lavage dans cette zone est de 80 à 85 °C, ce qui permet de purger les fibres sans trop les endommager. La figure 13 présente le schéma d'un lessiveur du type Kamyr à fonctionnement continu.

Dans la cuisson en discontinu, les copeaux et la lessive sont introduits dans le lessiveur qui est alors fermé et porté à la pression et à la température prévues de fonctionnement selon une séquence prédéterminée. Le plus souvent, on chauffe le

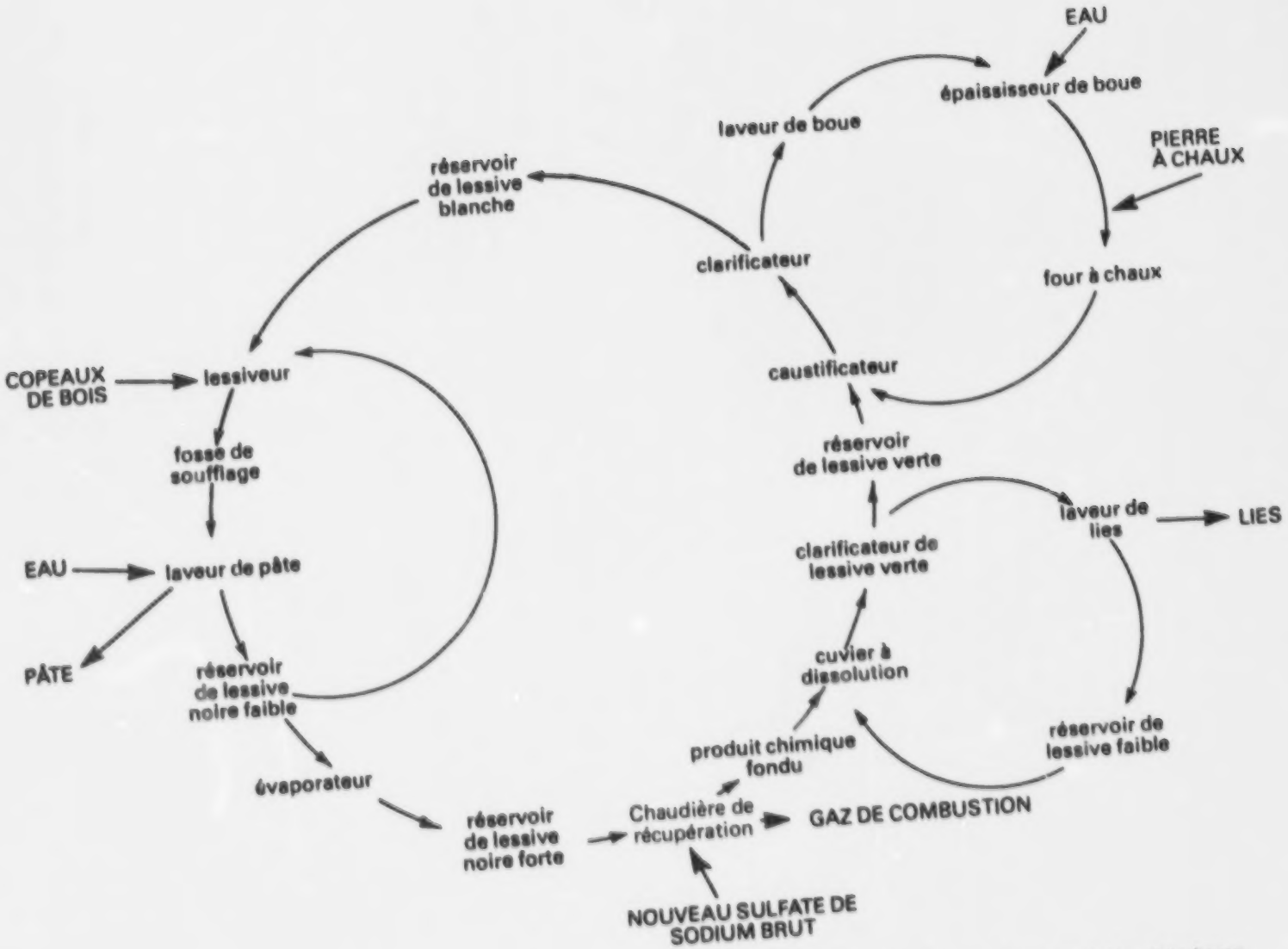

FIGURE 12 Caractère cyclique du procédé de pâte kraft et récupération des produits chimiques

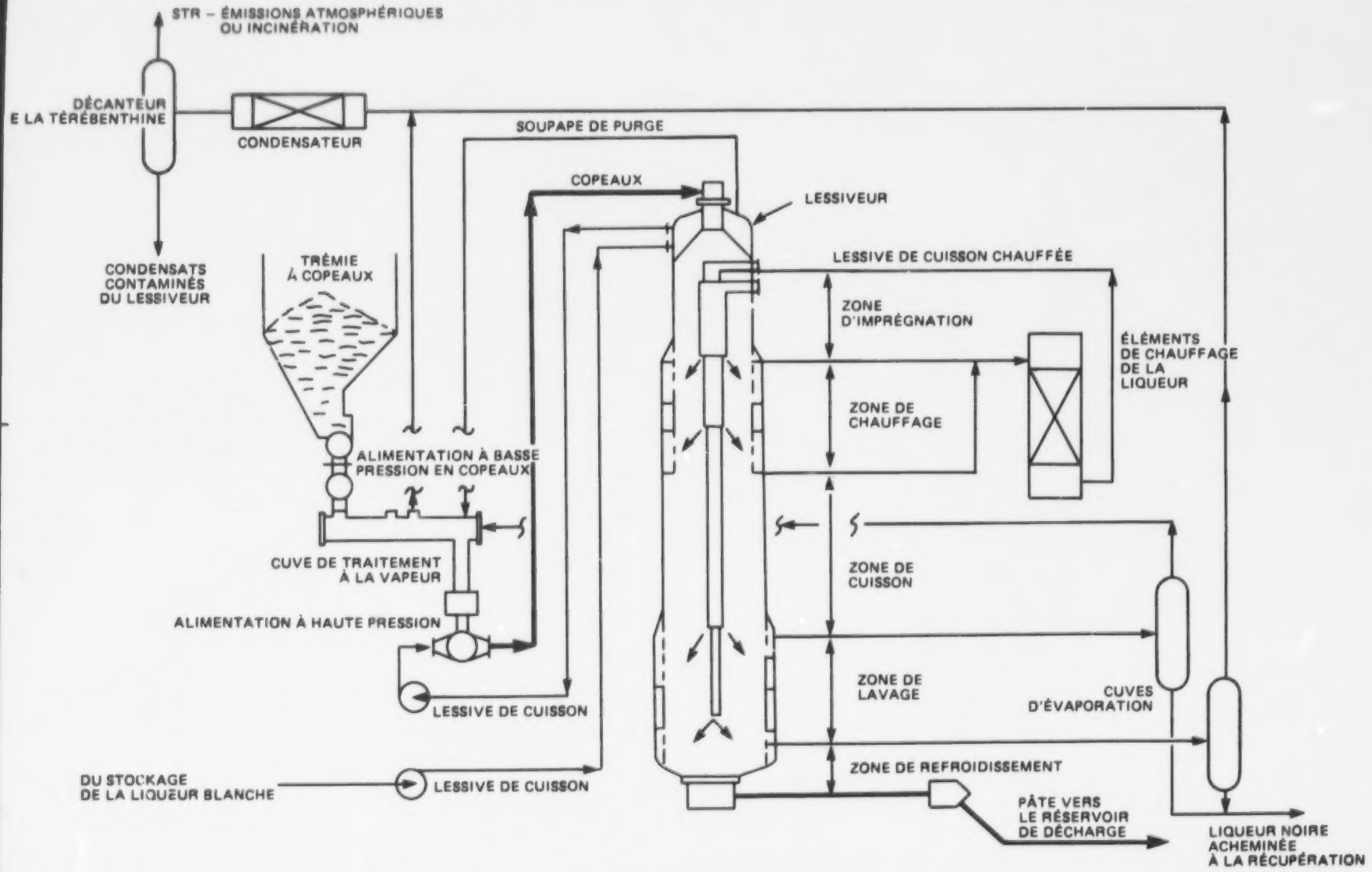

FIGURE 13 **Lessiveur de type Kamyr à fonctionnement continu**

TABLEAU 5 ANALYSE DE LA LIQUEUR NOIRE TYPE

	Pourcentage des matières solides sèches		
	Pin (usine 1)	Pin (usine 2)	Épinette
Lignine	28,9	31,1	41
Hémicellulose et sucres	1,1	1,3	-
Extraits	6,7	5,7	4
Acides saccharinques		18,8	28
Acide acétique	3,5	5,2	5
Acide formique	4,5	3,1	3
Autres acides organiques	5,5		-
Méthanol			1
Substances organiques inconnues	19,0	5,8	
Sels minéraux	18,6	20,3	
Na organique	10,1	8,7	
Composés inorganiques inconnus	2,1		
Soufre, S			3
Sodium, Na			16

Nota: Ces données ont été résumées à partir de comptes rendus présentés lors du symposium de l'EUCEPA (Comité européen pour la cellulose et le papier) sur la récupération des produits chimiques employés pour le défibrage, Helsinki (1968).

lessiveur en ajoutant directement de la vapeur, mais une partie ou même tout le chauffage peut être effectué en récupérant la liqueur, en la chauffant indirectement à la vapeur dans un échangeur de chaleur, et en la recirculant dans le lessiveur. L'opération terminée, la pâte est chassée dans un réservoir de décharge où elle est diluée avec la liqueur noire et ensuite, pompée jusqu'à l'atelier de lavage. La figure 14 montre un système typique de cuisson en discontinu.

Les terpènes et les autres constituants volatils sont distillés durant les premiers stades de la cuisson et doivent être chassés. La pression maximale de cuisson, le plus souvent de l'ordre de 600 kPa, est atteinte en 1 à 3 heures; le cycle complet, depuis le chargement jusqu'à la purge, ainsi que la préparation d'un autre lot, prend environ 4 heures.

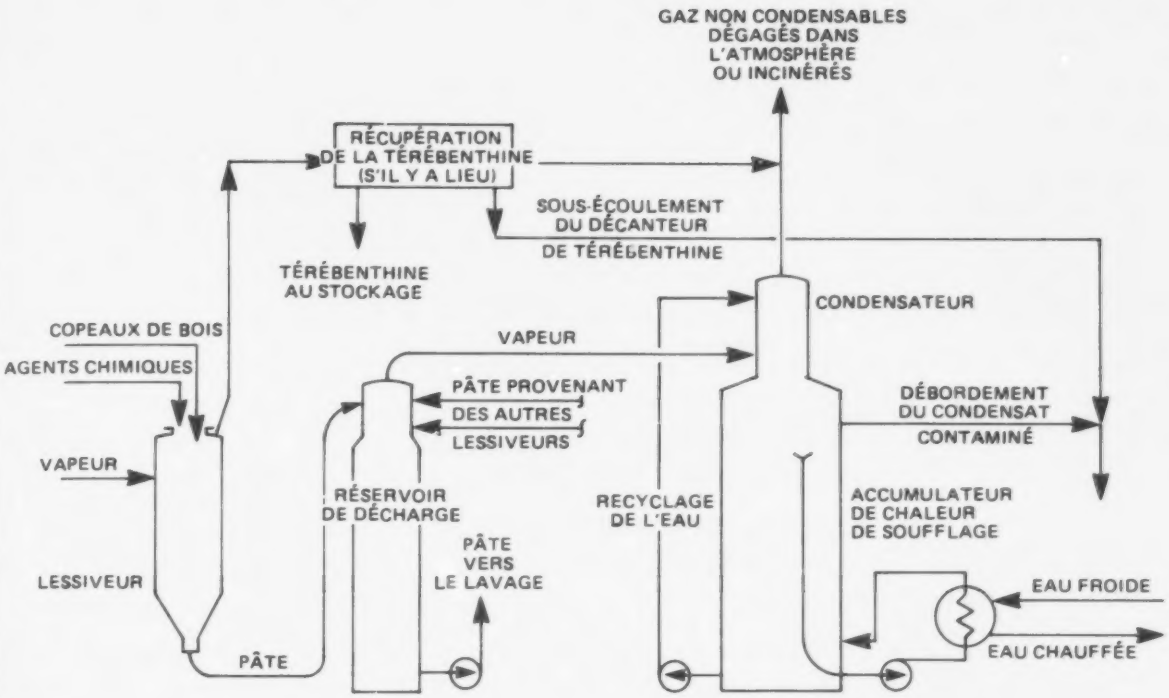

FIGURE 14 **Circuit typique d'un lessiveur en discontinu**

Les expressions comme "alcali actif", "alcali efficace" et "sulfidité", etc., sont couramment employés dans les usines de pâte kraft pour décrire la composition chimique des lessives. Il est aussi pratique courante d'exprimer les quantités des divers composés sodés par leur poids équivalent en oxyde de sodium (Na_2O). En réalité, le composé Na_2O n'existe pas dans la lessive et il est employé pour des raisons de commodité. Le tableau 6 donne la liste de ces expressions et définitions.

5.3.2 Lavage de la pâte brune. - La pâte du réservoir de décharge est intimement mélangée à la liqueur noire et doit en être extraite. Cette opération s'appelle le lavage de la pâte brune parce qu'autrefois elle avait pour objectif premier d'extraire la liqueur noire de la pâte. Cependant, avec le coût de l'énergie et les contraintes environnementales des années 1980, il est maintenant essentiel de donner pour but à cette opération de séparer les fibres constituant la pâte des matières solides de la liqueur noire en ajoutant aussi peu d'eau que possible.

TABLEAU 6 DÉFINITIONS NORMALISÉES DANS L'INDUSTRIE DE LA PÂTE KRAFT (toutes les quantités sont exprimées en Na_2O)

Expression	Définition
Produits chimiques totaux	Tous les sels de sodium sont exprimés en Na_2O (à l'exception du NaCl)
Alcali actif	$NaOH + Na_2S$
Alcali efficace	$NaOH + 1/2\ Na_2S$
Sulfidité	$\frac{Na_2S}{NaOH + Na_2S} \times 100$
Alcalis totaux	$NaOH + Na_2S + Na_2CO_3 + Na_2SO_4$
Alcalis totaux titrables	$NaOH + Na_2CO_3 + Na_2S$
Causticité	$\frac{NaOH}{NaOH + Na_2CO_3} \times 100$
Activité	$\frac{NaOH + Na_2S}{NaOH + Na_2S + Na_2CO_3} \times 100$

Par convention, le rendement est évalué en fonction de la perte de soude, c'est-à-dire d'après la concentration de sulfate de sodium qui reste dans la pâte après le dernier lavage; le résultat est normalement exprimé en kg de Na_2SO_4 par tonne de pâte séchée au four. La plupart du temps, la quantité de matières organiques n'est pas mesurée, mais elle est sensiblement proportionnelle à la perte de soude. (On l'exprime le plus souvent à l'état de Na_2SO_4, mais certains, notamment ceux qui préfèrent des valeurs de pertes qui semblent faibles, expriment les résultats en kg de Na_2O par tonne de pâte séchée au four. Il est essentiel de savoir avec quel système d'unités les pertes des piles laveuses ont été exprimées.)

Pratiquement toutes les matières organiques entraînées hors des piles laveuses avec la pâte sont rejetées dans l'effluent sous une forme ou sous une autre. La majeure partie est extraite de la pâte lors du lavage dans l'atelier d'épuration en aval et elle peut représenter jusqu'à 30 kg de DBO par tonne de pâte, dans les cas extrêmes. Ces matières organiques particulières contiennent des quantités importantes d'acides résiniques et d'autres grosses molécules toxiques pour les poissons et qui résistent au traitement

biologique; leurs effets sur la qualité de l'effluent final et le coût de leur traitement sont habituellement beaucoup plus importants que ne l'indiquerait la quantité correspondante de DBO.

Les matières solides résiduelles de la liqueur noire qui ne sont pas extraites de la pâte dans l'atelier d'épuration réagissent avec le chlore dans l'atelier de blanchiment situé en aval et sont déversées dans l'effluent sous forme de lignines chlorées. Dans les usines qui produisent de la pâte kraft écrue, cette liqueur noire résiduelle est en bonne partie extraite de la pâte dans la machine à papier ou dans les cyclindres sécheurs, et elle rejoint l'effluent de l'usine dans l'eau blanche en excès.

La quantité d'eau ajoutée dans le système pour assurer la séparation est exprimée par le facteur de dilution, qui est le rapport entre le débit massique de l'eau du rinceur qui ne sort pas avec la feuille de pâte et le débit massique de la pâte. Celui-ci est sans unités et il permet des comparaisons et des prévisions sur la performance des piles laveuses. Les rapports typiques sont de 2/1 à 4/1. Il faut contrôler avec soin la quantité d'eau de dilution apportée au lavage puisque non seulement elle agit sur l'efficacité de ce dernier, mais elle doit aussi être évaporée dans l'usine de récupération.

Le facteur de dilution et le nombre de stades de lavage sont les deux variables fondamentales qui déterminent l'efficacité du lavage. La configuration des lieux, la construction et l'exploitation de l'équipement ont aussi de l'importance et sont étudiées ci-dessous.

La teneur en matières dissoutes de la liqueur noire constitue également une variable majeure qui agit sur la performance des circuits de lavage de la pâte brune; c'est ce qu'on appelle normalement dans l'industrie "la consistance".

Dans tout système donné, la perte de soude est réduite quand le facteur de dilution est accru. Cependant, le volume se trouve ainsi augmenté et la consistance de la liqueur noire est abaissée, ce qui rend nécessaire un stade d'évaporation, c'est-à-dire des frais pour l'achat d'évaporateurs et de chaudières de récupération ainsi que des coûts de consommation d'énergie.

Il est également possible d'augmenter l'efficacité du lavage en augmentant le nombre d'étapes ou en employant un meilleur équipement, encore une fois au prix de nouveaux investissements et de frais d'entretien. Toutefois, il n'y a généralement pas d'augmentation importante de la consommation d'énergie; dans beaucoup de cas, on obtient une réduction nette de la consommation en ayant un stade supplémentaire de lavage.

Toute amélioration de l'efficacité signifie un transfert vers la chaudière de récupération de matières organiques et de produits chimiques normalement déversés à l'égout; la quantité de vapeur produite est ainsi augmentée à la condition que la chaudière soit de taille suffisante.

L'examen des données sur les pertes de soude dans les circuits les plus efficaces de lavage de la pâte brune nécessite la distinction entre la soude liée et la soude non liée. Une partie des sels de sodium, normalement environ 3 kg/t de pâte, est intimement liée aux fibres par sorption et ne peut être enlevée de la pâte par de simples lavages à l'eau. On considère que le reste constitue la soude non liée qui peut être enlevée avec un matériel de lavage adéquat.

L'équilibre optimal entre l'efficacité du lavage, les coûts énergétiques et les investissements nécessite un dosage complexe d'éléments économiques, de génie mécanique et de technique; les meilleurs résultats ne sont possibles que dans les nouvelles installations. Toutefois, les usines vétustes peuvent approcher le rendement des nouvelles installations par l'ajout de stades supplémentaires de lavage ou par de l'équipement moderne. Dans la plupart des vieilles usines, les systèmes de lavage sont loin d'offrir les conditions optimales de rentabilité car à l'époque où elles ont été construites, l'évaluation de l'économie d'ensemble n'était pas aussi poussée qu'à présent et parce que, depuis, les équipements ont changé et que les coûts énergétiques ont augmenté. Pour toutes ces raisons, beaucoup de vieilles usines rejettent une quantité assez importante de liqueur noire résiduelle. La limite pratique observée pour l'efficacité du lavage correspond à une perte de soude non liée d'environ 5 kg et de soude liée d'environ 3 kg par tonne de pâte; beaucoup d'usines modernes sont conçues de façon à respecter ce critère.

La DBO des matières organiques perdues avec la soude est proportionnelle à la perte de cette dernière. La figure 15 fournit un tracé des pertes en fonction de l'indice de dilution calculé pour des systèmes typiques à trois et quatre stades de lavage dans une usine donnée. Les valeurs observées varient selon les conditions locales, mais les courbes sont typiques. À noter les conditions quand l'atelier est fermé; voir aussi le chapitre 6.5.

Les calculs derrière les prévisions de l'efficacité du lavage sont complexes; des méthodes simplifiées ont été publiées, mais il vaut mieux employer un ordinateur pour examiner adéquatement les forts nombreuses alternatives offertes au plan de la conception et de l'exploitation et pour choisir la meilleure formule.

Ce que nous venons de dire au sujet du lavage de la pâte brune s'applique aussi bien aux autres types d'équipement étudiés dans la suite du présent chapitre. La méthode classique de lavage consiste à employer une série de tambours rotatifs conçus de façon à

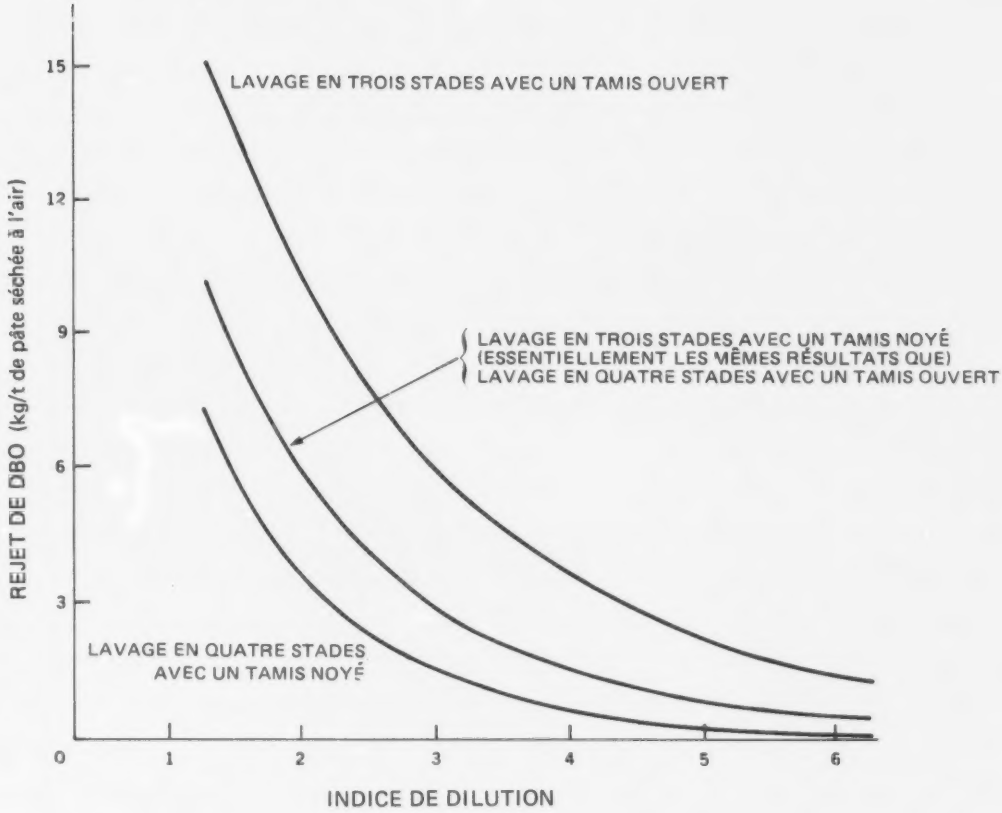

FIGURE 15 **Pertes exprimées en DBO, en fonction de l'indice de dilution dans un système de lavage de la pâte kraft**

aspirer la plus grande quantité possible de liqueur noire. L'eau de lavage pure est introduite au dernier stade et la pâte, au premier stade. À chaque stade, on lave la pâte avec la liqueur de lavage provenant du stade suivant. La figure 16 donne le schéma de systèmes typiques à trois étapes; la figure 24 montre un tambour aspirant.

La pâte est séparée de la liqueur épuisée par le filtre aspirant, constitué d'une toile métallique enveloppant un cylindre en rotation dans une cuve qui contient la pâte en bouillie. Le tambour est en partie plongé dans la pâte. Le vide est créé par l'écoulement du filtrat dans une colonne barométrique et appliqué par un jeu de clapets à mesure que chaque section du tambour est plongée dans la bouillie. La liqueur noire est entraînée à travers la toile tandis que la pâte reste à la surface. La feuille de pâte se forme à mesure que le tambour tourne dans la bouillie et elle est maintenue en place par le vide partiel à l'intérieur du tambour.

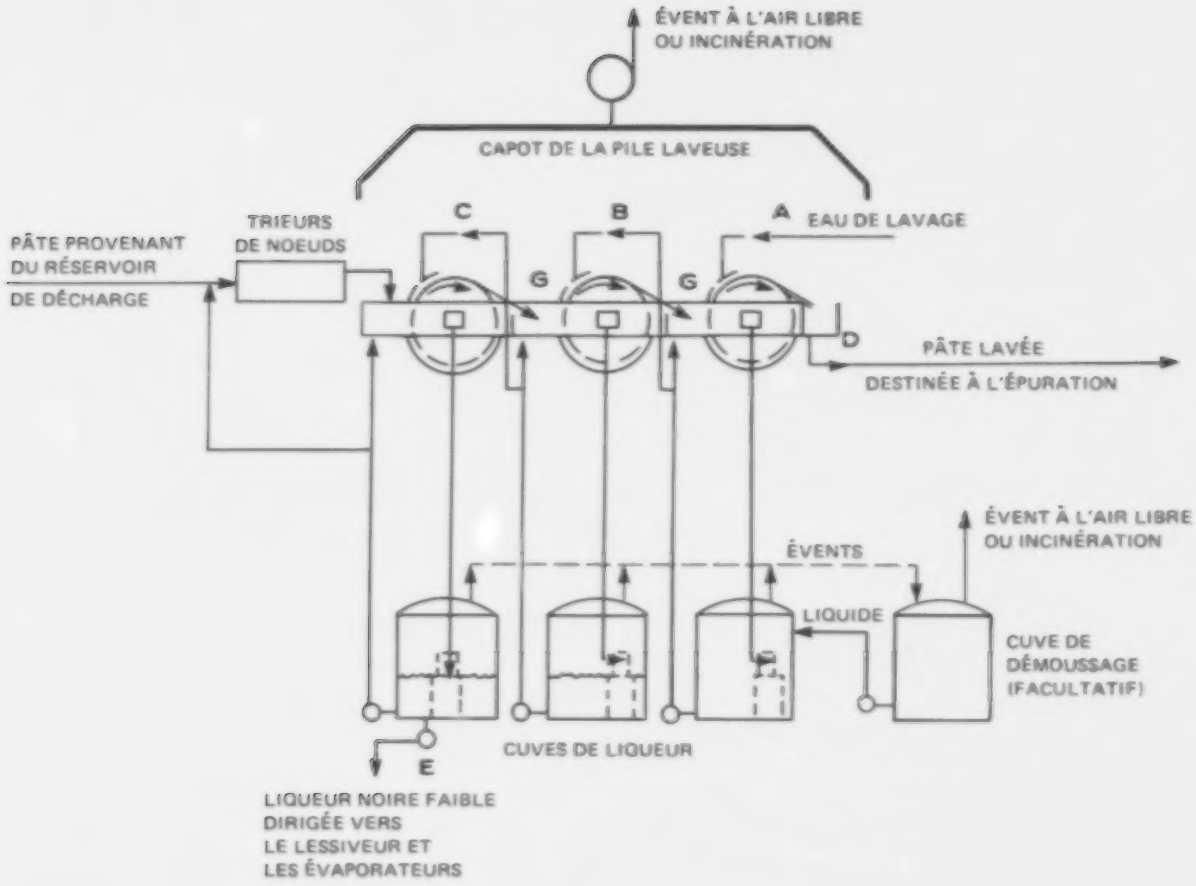

FIGURE 16 **Système classique de lavage de pâte brune (type à tambour)**

Une fois séparée de la bouillie, la feuille de pâte est lavée avec l'eau "A" ou les filtrats "B" ou "C" au moyen de multiples rinceurs disposés au-dessus de la feuille (figure 16). La liqueur noire résiduelle se trouve délogée de la feuille, et finalement cette dernière continue de tourner avec le tambour jusqu'au point où la pression normale est rétablie et que la pâte lavée est enlevée de la toile; à ce point, elle a une consistance de 12 à 15 p. 100. Elle passe ensuite au stade de mélange "G", entre les autres stades. Là, des retriturateurs la brisent et la diluent avec de la liqueur faible de l'étape suivante. Les fibres sont agitées pour dégorger les matières dissoutes encore captives et on les fait passer dans la liqueur avant l'extraction sur le tambour aspirant suivant.

L'emploi de la pile laveuse est beaucoup compliqué par le démoussage, spécialement avec les liqueurs de pin à fortes teneurs en résines et en acides gras. La mousse remplit les espaces entre les fibres et empêche l'écoulement naturel de la liqueur. Elle diminue l'efficacité des rinceurs en abaissant les taux de diffusion et en permettant la formation de canaux. Un épais collet de mousse s'accumule parfois dans les cuves et déborde dans les égouts, provoquant des pertes de produits chimiques et contribuant largement à la DBO et à la toxicité des effluents.

Le lavage de la pâte sur des tambours aspirants est accompli en deux opérations: la dilution et l'agitation de la pâte dans une cuve avec une liqueur plus diluée et l'épaississement subséquent sur le tambour; et le déplacement par la liqueur des rinceurs de la liqueur de la cuve laissée sur les tambours.

Le taux de lavage (TL) se calcule en faisant le rapport entre les substances solubles extraites dans la zone de rinçage et la valeur maximum de substances solubles qu'on pourrait extraire si le lavage était parfait. Ce rapport est le principal outil pour la définition de l'efficacité du lavage de toute étape donnée et il fournit la mesure de toutes les variables opératoires. Évidemment, l'efficacité du lavage varie selon la quantité d'eau de dilution ajoutée; cependant, on peut raisonnablement supposer que le taux de lavage sera peu changé par les petites variations du facteur de dilution, une fois prévu l'effet des nouvelles conditions d'opération.

Au premier stade, le taux de lavage est assez élevé parce que la pâte et sa liqueur contiennent assez peu d'air. Il est normalement de 0,8 à 0,9, selon le facteur de dilution. Celui des stades intermédiaires varie normalement entre 0,5 et 0,7. Les différents taux obtenus à chaque étape sont combinés pour fournir l'efficacité générale du système. Les conditions d'opération comme la vitesse de la pile laveuse, la charge spécifique, l'épaisseur de la feuille, la consistance de la pâte, la viscosité de la liqueur, le débit des rinceurs, la vitesse de passage de la pâte, le degré d'aspiration, la température, etc., ont tous une répercussion sur le taux de lavage réel, et donc sur l'efficacité du lavage.

La technique classique de lavage sur un tambour rotatif aspirant à contre-courant offre quelques avantages, notamment un lavage efficace avec une liqueur peu diluée et une faible perte de chaleur, ainsi que l'existence d'équipements de qualité pour lesquels un bon nombre de fournisseurs se font concurrence. Cependant, la forte quantité en circulation (environ 100 m^3/t par étape) oblige à une grande consommation d'énergie pour le pompage et constitue un risque de déversement important dans les égouts en cas de panne. Les piles laveuses de ce type peuvent extraire 98 à 99 p. 100 des produits

chimiques épuisés et des matières en solution et elles atteignent la limite pratique de la perte de soude dont il a été question plus tôt. Pour cela, il faut normalement cinq stades de lavage, mais peu d'usines en ont plus de quatre et il n'y en a très souvent que trois. Les usines équipées pour effectuer le lavage aux diffuseurs dans le lessiveur sont en mesure d'atteindre un bon rendement de lavage avec moins de stades.

L'équipement décrit ci-dessus est employé dans la majorité des usines avec des variantes assez peu importantes d'équipement et de conception du système. D'autres types d'équipement ont été introduits au cours des dix dernières années et ils offrent certains avantages mais bien souvent, leur coût d'installation était plus élevé. Les derniers progrès importants dans ce domaine ont été réalisés par la Kamyr dans les années 1960. Il y a maintenant une quinzaine d'installations de ce type au Canada et à peu près 200 dans le monde.

La figure 17 montre un diffuseur à deux stades pour la pâte brune. Il est constitué d'un ensemble d'anneaux concentriques formés de plaques perforées doubles disposées sur une série de bras, normalement trois ou six. L'ensemble est remonté à la même vitesse que la pâte par des cylindres hydrauliques disposés à l'extérieur du diffuseur, et rabattu en une seconde environ après avoir terminé sa course vers le haut. Cette technique empêche les tamis de s'obturer, car elle les nettoie toutes les une ou deux minutes. La pâte s'écoule vers le haut à environ 10 mètres à l'heure par le jeu aménagé entre les anneaux. L'eau de lavage est introduite dans la pâte à mi-chemin entre les anneaux grâce à une série de buses en rotation suspendues au grattoir qui tourne à environ 8 tours/min. L'eau de lavage s'écoule par les tamis et, ce faisant, déloge la liqueur entraînée avec la pâte. On emploie normalement un facteur de dilution de 2 à 3. Le filtrat qui traverse les plaques perforées est recueilli dans les bras évidés qui supportent l'ensemble et il est extrait par une boîte collectrice et par des conduites extérieures. Dans l'illustration, le filtrat s'écoule dans les bras jusqu'à un tuyau central et, de là, vers l'extérieur. La pâte est poussée vers le haut du diffuseur par une pompe ou, quand celui-ci est relié à un lessiveur en continu, par la pression dans le lessiveur même.

La température de la pâte et de l'eau de lavage est normalement de 50 à 70 °C; le système est fermé, mais non pressurisé. Normalement, la pâte a une consistance de 10 à 14 p. 100 et celle-ci reste à peu près constante tout au cours du lavage.

L'opération peut être faite en plusieurs stades en séries; il est même possible d'effectuer une partie du lavage dans le diffuseur et de le terminer dans les piles laveuses. Les diffuseurs ont l'avantage de ne pas produire les grands débits d'eau recirculée, caractéristiques des piles laveuses classiques. Ainsi, il y a moins de risques de déver-

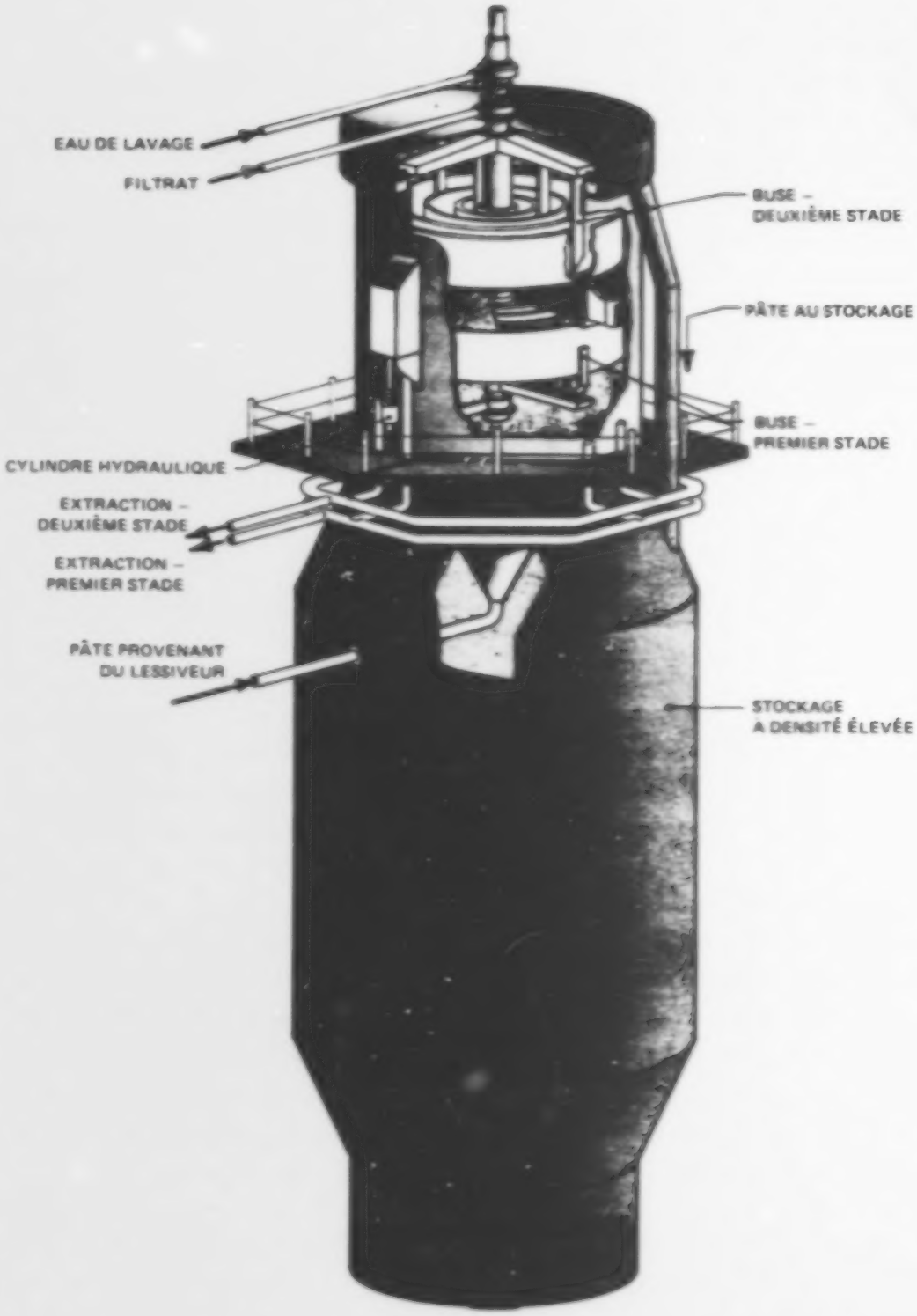

FIGURE 17 Diffuseur à deux stades pour la pâte brune (Kamyr Inc.)

sements et de fuites par suite de pannes ou d'erreurs de jugement. L'air ne s'introduit plus, non plus, en grande quantité dans la pâte, et cela évite la formation de mousse, diminue les risques de débordement dans les égouts et de dégagement d'une quantité importante d'air humide contaminé par des gaz malodorants de STR.

Un nouvel appareil a été mis sur le marché récemment, le laveur à courroie transporteuse: une feuille de pâte est rincée sur le treillis de la courroie transporteuse tandis que la liqueur est drainée par dessous. Plusieurs stades de lavage peuvent être installés le long d'une même courroie en séparant l'effluent recueilli dans les bacs disposés sous la courroie et en branchant les rinceurs à contre-courant de l'écoulement de la pâte. Seuls quelques rinceurs de ce type ont été construits; il faudra encore un certain temps d'utilisation avant qu'on puisse les évaluer pleinement. Cependant, un grand nombre des avantages qu'ils présentent sont identiques à ceux du diffuseur décrit précédemment.

Des presses ont été incorporées à certains systèmes de lavage, en général au dernier stade, pour enlever le plus possible de liqueur noire dans la pâte avant l'épuration.

5.3.3 **Production de térébenthine.** - Les vapeurs émises par le lessiveur (figures 13 et et 14) contiennent jusqu'à 6 kg environ de térébenthine par tonne de pâte selon l'essence végétale et la cuisson. En général, ces vapeurs sont condensées, ce qui est une condition sine qua non de fonctionnement de tout système de neutralisation des odeurs. La récupération de la térébenthine réduit la DBO et la toxicité de l'effluent puisque ce liquide a une DBO de l'ordre de 1 kg/kg de térébenthine.

La figure 18 montre le fonctionnement d'un système de récupération à l'eau de la térébenthine. Celle-ci a une densité d'environ 0,8 de sorte qu'elle surnage sur l'eau de condensation. Le niveau de l'eau dans le décanteur est réglé par la hauteur de la conduite de décharge en "U" inversé. La conduite de décharge de la térébenthine est située au-dessus de ce niveau de sorte que c'est de la térébenthine assez pure qui est récupérée. Le sous-écoulement, qui contient des terpènes, des terpinols, du méthanol, etc., a une mauvaise odeur, est toxique pour les poissons et a une DBO pouvant atteindre environ 4 kg/t de pâte.

Plusieurs systèmes plus compliqués et plus efficaces de récupération de la térébenthine ont été mis au point et tous fonctionnent selon le principe de l'extraction par différence de densité. Dans tous les cas, le rendement baisse considérablement quand, dans les gaz d'échappement, il y a entraînement important de liqueur noire provenant du

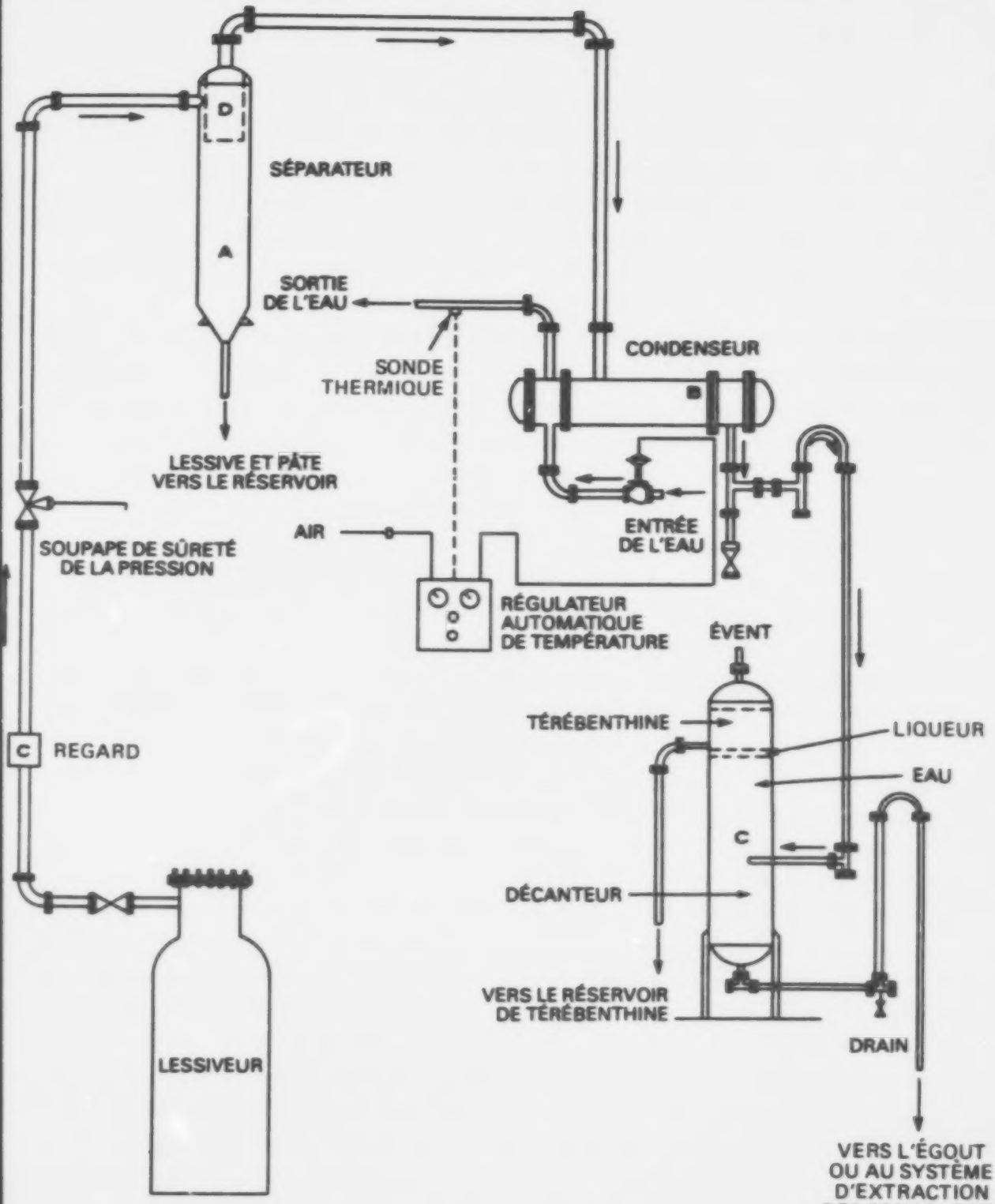

FIGURE 18 Unité de récupération par lots de la térébenthine

lessiveur, et cela augmente considérablement la DBO du sous-écoulement. La térébenthine récupérée est rachetée par des entreprises de raffinage ou encore, elle est employée comme combustible à l'usine, la plupart du temps dans le four à chaux.

5.3.4 Effluents. - Outre le sous-écoulement du décanteur à térébenthine, les matières organiques perdues au stade des piles laveuses constituent un important effluent de l'usine. La figure 15 indique les rejets typiques de DBO.

Après le lavage, la pâte est normalement acheminée à la salle des tamis où elle est diluée jusqu'à ce qu'elle ait une consistance de 2 p. 100, de façon à ne pas bloquer les tamis, et elle est ensuite épaissie à nouveau comme l'explique le chapitre 6. La plupart des matières organiques qui restent dans la pâte après le lavage se trouvent finalement rejetées à l'égout, soit directement au stade du tamisage, soit dans une installation subséquente de blanchiment ou dans une papeterie quand la pâte est à nouveau successivement diluée et réépaissie.

Étant donné que la liqueur noire et la pâte sont en fortes quantités, il risque de se produire d'importants déversements de DBO et de matières dissoutes dans l'égout à la suite de pannes ou d'erreurs de jugement. Pour minimiser ces pertes, il est indispensable d'avoir un équipement adéquat et un personnel entraîné. Beaucoup d'usines modernes ont installé des systèmes de nettoyage des déversements pour diminuer le rejet d'effluents de cette source parce qu'ils sont souvent assez importants pour causer de sérieux problèmes d'exploitation dans les usines de traitement des eaux usées. Les déversements des ateliers de préparation de la pâte kraft constituent à l'occasion la principale source unique d'effluents et ils constituent normalement une proportion importante de la DBO totale dans l'effluent, sauf dans certaines nouvelles usines équipées de systèmes intégrés de nettoyage. Les chiffres varient beaucoup d'une usine à l'autre et d'une journée à l'autre, et ils dépendent de la qualité de la conception, de l'exploitation et de l'entretien des usines. Consulter le chapitre 14 pour des précisions sur les mesures préventives et correctrices en cas de déversement.

5.3.5 Émissions atmosphériques. - À cause de leur odeur désagréable tellement caractéristique, les gaz à base de soufre réduit constituent les émissions atmosphériques les plus connues que dégagent les usines de pâte kraft. Le procédé kraft produit environ 2 kg de soufre réduit total (SRT) par tonne de pâte, et ces gaz doivent quitter le système à un point ou l'autre. Les figures 13, 14 et 16 montrent les points normaux d'émissions dans les ateliers de préparation de la pâte et de lavage.

Les taux d'émissions signalés varient beaucoup, en partie à cause de variations réelles et en partie à cause des difficultés techniques et des coûts associés à leur mesure. Le fonctionnement des lessiveurs en discontinu tend à extraire les gaz de STR de la pâte pendant la décharge, de sorte que les principales émissions proviennent de l'évent du décanteur de térébenthine ou de celui du système de récupération de la chaleur de décharge quand ce dernier fonctionne mal, tandis que dans le cas des lessiveurs en continu, les émissions sont réparties de façon plus égale entre l'évent du lessiveur et celui de la pile laveuse. Dans le cas des diffuseurs en continu, les émissions de STR sont très réduites, mais le dégagement se produit au stade des évaporateurs. Consulter la figure 30 pour le diagramme des émissions totales du STR dans les usines.

Puisque le contrôle des émissions de STR dans le lessiveur est intégré à celui des émissions dans les autres ateliers, nous l'analysons à la section 14.4. L'incinération constitue la seule façon efficace d'éliminer les émissions des piles laveuses. Dans un certain nombre d'usines, on a construit des circuits pour acheminer les gaz d'échappement jusqu'aux chaudières où ils alimentent la combustion. Cela nécessite la mise en place d'une hotte assez étanche autour des piles afin de minimiser le volume d'air en circulation, et il faut habituellement installer un condensateur pour enlever la vapeur d'eau en excès. Puisque habituellement, les chaudières ne sont pas contiguës aux piles, l'installation peut coûter cher malgré sa relative simplicité et sa fiabilité. Les investissements seraient de l'ordre de quelques centaines de milliers de dollars.

5.3.6 **Déchets solides.** - Immédiatement avant les piles, les trieurs de noeuds extraient l'équivalent de quelques dixièmes du débit de pâte. Les noeuds sont habituellement défibrés par raffinage et/ou recuisson, et donc repris dans le processus. Toutefois, ce système est sujet à des pannes assez fréquentes et dans beaucoup d'usines, on juge nécessaire d'enfouir les noeuds ou de les déverser dans les égouts pendant quelques jours par année. Habituellement, on ne peut pas les brûler car leur teneur en sodium cause la formation de scories dans les chaudières.

Dans beaucoup d'usines, on recueille les produits déversés par suite de pannes et on les enfouit plutôt que de les rejeter à l'égout comme auparavant. Il peut s'agir de quantités totales impressionnantes, par exemple 30 tonnes par jour, mais généralement assez insignifiantes sur une base annuelle.

5.4 Préparation de la pâte au sulfite

Les essences généralement employées avec ce procédé sont l'épinette, le sapin baumier et la pruche de l'Ouest. Le bouleau et le peuplier comptent parmi les rares essences de bois dur exploitées. L'amenuisement des ressources, le coût sans cesse croissant du bois et le coût élevé du traitement des effluents expliquent en bonne partie le déclin de popularité de ce procédé. On peut classer la pâte au sulfite selon son emploi commercial de la façon suivante:

- pâte écrue au sulfite pour le papier journal et autres produits à faible coloration;
- pâtes au sulfite blanchies pour le papier bond, pour le papier registre, pour le papier pour impression sur fond blanc et pour le papier écriture; et
- pâte au sulfite de dissolution pour la fabrication de rayonne, de pâte textile et de pellicule.

5.4.1 Procédé de base au sulfite. - La figure 19 donne le schéma simplifié d'un système au sulfite. La lessive est préparée en calcinant du soufre pour produire du SO_2, ou parfois en achetant du SO_2 liquide, et en le dissolvant dans une solution alcaline de base. Auparavant, on employait exclusivement la pierre à chaux dans la tour d'absorption comme garnissage et comme source de calcium pour produire du bisulfite de calcium. Au cours des dernières années, la pierre à chaux a été remplacée de plus en plus souvent par des bases solubles comme le magnésium, le sodium et l'ammonium, qui augmentent les possibilités de rendement, sont moins polluantes et fournissent une pâte plus résistante. Avec ces bases solubles, on emploie un garnissage inerte comme des selles de Berl, etc. L'acide brut de cuisson est constitué d'un mélange de SO_2 libre dissous dans l'eau et de SO_2 combiné sous forme de bisulfite au Ca, Mg, NH_4 ou Na. Avant de l'employer, on enrichit l'acide brut, avec du SO_2 dégagé par le lessiveur. Cette opération a lieu dans des accumulateurs à basse et à haute pression et qui sont pressurisés pour augmenter la solubilité du dioxyde de soufre dans la lessive. Le tableau 7 donne les valeurs typiques avant et après le traitement dans le cas du procédé au sulfite acide.

Le procédé classique au calcium donne un pH d'environ 1,5 dans le lessiveur, ce qui forme un milieu acide au sulfite. L'emploi des bases solubles, de plus en plus populaires au cours des dernières années, donne une liqueur dont le pH est normalement compris entre 2 et 5, qu'on appelle couramment la liqueur de cuisson au bisulfite.

Les gaz qui sortent de l'accumulateur à faible pression sont habituellement lavés dans une base alcaline pour permettre la récupération poussée de tout SO_2 qui n'a pas été absorbé par l'acide brut dans l'accumulateur. À l'intérieur du lessiveur, la température et

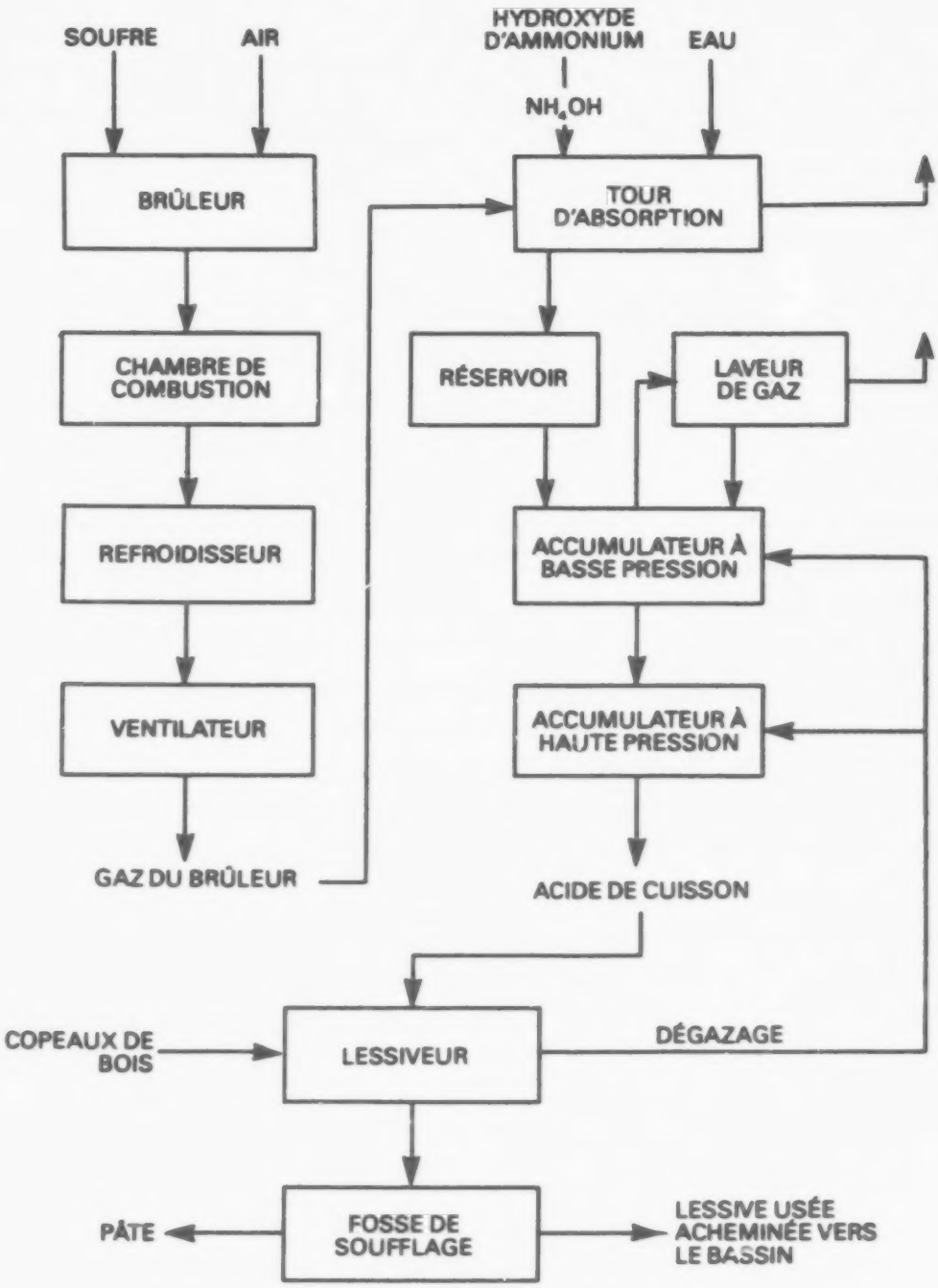

FIGURE 19 **Procédé de préparation de la pâte au sulfite**

TABLEAU 7 ANALYSE DE LA LESSIVE AU SULFITE

	Pourcentage par poids	
	Acide brut	Acide dans le lessiveur
SO_2 total	4,0 - 4,2	5,0 - 8,0
SO_2 libre	2,8 - 2,5	5,0 - 6,8
SO_2 lié	1,2 - 1,7	1,0 - 1,2

la pression doivent être réglés avec soin de façon à garantir l'imprégnation uniforme des copeaux par la lessive. La délignification est obtenue par la sulfonation et l'hydrolyse qui forment des lignosulfonates solubles. Avant la décharge de la pâte, la pression est abaissée et la vapeur et les gaz de digestion sont acheminés vers les accumulateurs. La pâte est déchargée par l'ouverture de la vanne de décharge au fond du lessiveur qui est restée partiellement pressurisé, de sorte que la pâte est soufflée dans une fosse ou dans un réservoir de décharge.

Les fosses de décharge sont des cuves dont le fond est finement perforé pour drainer les liquides tandis que la pâte est retenue. Les liqueurs épuisées sont drainées à l'égout et la pâte est lavée par plusieurs rinçages successifs avec l'eau blanche et/ou de l'eau douce. C'est une excellente façon d'enlever les produits chimiques dissous dans la pâte, mais comme ils sont très dilués, leur récupération n'est pas pratique.

Les réservoirs de décharge sont en réalité des cyclones atmosphériques semblables à ceux de la pâte kraft décrits précédemment. Ils sont habituellement reliés à une batterie de tambours laveurs semblables à ceux du système de lavage de la pâte kraft brune. Les expressions "réservoirs de décharge" et "fosses de décharge" sont souvent employées indifféremment.

5.4.2 Préparation de la pâte au sulfite à haut rendement. - Il existe une variante de plus en plus répandue de la méthode décrite précédemment, celle qui consiste à cuire partiellement les copeaux dans un lessiveur et de terminer le défibrage dans des raffineurs semblables à ceux décrits à la section 5.1. Cette méthode est pratique seulement avec une base soluble et la plupart des procédés à haut rendement emploient le sodium. La pâte sert le plus souvent à la préparation de papier journal et de papier de même qualité et à la limite, ce procédé à haut rendement s'apparente davantage au défibrage mécanique

assisté par un traitement chimique. Dans ce cas, la pâte est souvent qualifiée de chimico-mécanique (PCM). Il n'existe pas de division absolue entre les types, mais on accepte couramment qu'un rendement de 80 p. 100 constitue la limite supérieure de la méthode "au sulfite à haut rendement". En gros, plus le rendement augmente, moins la consommation de produits chimiques est forte et plus il y a de raffinage.

5.4.3 Composition de la liqueur au sulfite épuisée. - Rydholm a préparé un tableau des sous-produits obtenus lors d'une cuisson typique à faible rendement, semblable au tableau 8. Il a aussi fourni des indications sur les catégories de produits du bois dont les sous-produits sont dérivés et sur les quantités relatives produites par tonne de pâte.

TABLEAU 8 SOUS-PRODUITS D'UNE CUISSON TYPIQUE AU SULFITE*

Composés	Origine	Quantité (kg/t de pâte)
Méthanol	Groupements méthoxylés du glucuronoxylane	7-10
Acide acétique	Groupements acétylés du xylane	30-90
Acide formique	Oxydation par le bisulfite de la formaldéhyde	0,5-1
Formaldéhyde	Groupements hydroxyméthylés de la lignine	2-6
Méthyl glyoxal	Décomposition des hexoses	5-6
Furfural	Déshydratation des pentoses	5-6
Acides sucrosulfoniques et aldoniques	Substitution par le bisulfite et oxydation des sucres	150-250
Sucres	Hémicellulose et cellulose	200-400
Cymène	Oxydation des terpènes au bisulfite	0,3-1
Lignosulfonates	Lignine	600-800

* S.A. Rydholm, Pulping Processes, Interscience Publishers, 1965.

Comme on pouvait s'y attendre, les principaux sous-produits résultent de la décomposition de l'hémicellulose et de la lignine. Un certain nombre de produits utiles ont été extraits des liqueurs au sulfite épuisées, notamment l'acide acétique, l'acide formique, des alcools, la vanilline, des levures de torula, des dispersants pour le béton et des liants pour le bitume. Malheureusement, le marché de ces produits est très limité.

La composition de la liqueur épuisée varie selon l'essence traitée, le rendement, les conditions de la préparation de la pâte, etc. La teneur en SO_2 total résiduel des liqueurs épuisées les plus concentrées (c.-à-d., directement de la fosse de décharge) varie ordinairement entre 0,2 et 0,5 p. 100 tandis que le pH peut varier entre 1,5 et 5 selon la base employée. Il y a ordinairement entre 7 et 14 p. 100 de matières solides dans la liqueur au sulfite épuisée et non diluée. Environ la moitié de ces résidus solides sont organiques. La récupération des sous-produits permet d'éliminer environ 60 p. 100 de la DBO dans la liqueur épuisée, mais elle réduit aussi la teneur en matières organiques, ce qui complique encore la récupération chimique conventionnelle.

5.4.4 Effluents. - Le débit total de l'effluent produit par un atelier de préparation de pâte au sulfite sans récupération varie considérablement, mais on a rapporté des débits de l'ordre de 50 à 200 m^3/t. À noter que pour obtenir l'estimation du débit total dans l'ensemble d'une usine de pâtes et papiers ou d'une papeterie, il faut ajouter les effluents produits par les autres ateliers.

Habituellement, il y a très peu de matières en suspension dans les effluents, normalement moins de 2 kg/t de pâte.

La teneur en DBO de l'effluent dépend du rendement, de l'efficacité du lavage et de l'existence d'un système de récupération des produits chimiques. Les valeurs données au tableau 9 sont typiques des conditions quand il n'y a pas de système de récupération.

La toxicité de l'effluent produit par la fabrication de la pâte au sulfite varie considérablement selon la base employée. La teneur en ammoniac des effluents des usines qui emploient l'ammonium comme base ajoute à la toxicité des matières organiques présentes.

Pour réduire la DBO et la toxicité des effluents, il suffit d'augmenter le rendement du procédé. Pour cela, il faut normalement installer des raffineurs afin d'alléger la charge du lessiveur; c'est une méthode qui a été adoptée par beaucoup d'usines canadiennes de traitement au sulfite. Dans les usines au sulfite avec récupération, toute amélioration du lavage de la pâte réduit la DBO et la toxicité de l'effluent, pourvu que le système de récupération ait la capacité de brûler le surplus de matières solides récupérées.

TABLEAU 9 CARACTÉRISTIQUES DES LIQUEURS RÉSIDUELLES AU SULFITE

Groupe de produits chimiques	Quantité (kg/t)		
	Rendement de 48 p. 100	Rendement de 60 p. 100	Rendement de 70 p. 100
Acide lignosulfonique	650	550	400
Sucres fermentescibles	150	75	25
Sucres non fermentescibles	50	40	25
Sodium	125	100	80
Soufre	140	115	90
Produits inorganiques divers	25	25	15
Total	1140	905	635
DBO_5	300	240	140

On peut réduire les pertes de matières en suspension en ayant recours aux méthodes étudiées au paragraphe 5.3.4.

5.4.5 **Sources d'émissions atmosphériques et dépollution.** - La tour d'absorption servant à préparer les acides de cuisson dégage normalement du dioxyde et du trioxyde de soufre. Les émissions totales normales d'oxydes de soufre sont de:

Base calcium	10-20 kg/t
Base magnésium	3-10 kg/t
Base ammonium	1-10 kg/t
Base sodium	1-5 kg/t

Quand le procédé oblige à employer un acide à très faible pH, les émissions sont au haut des plages de valeurs données. Le pH des émissions peut être réduit en allongeant la colonne d'absorption et en contrôlant soigneusement la combustion dans le four, à l'exception des usines qui emploient le calcium. Dans ce dernier cas, la seule mesure efficace serait l'installation d'un laveur à alcali séparé.

Les seules émissions importantes durant la cuisson sont le dégagement du dioxyde de soufre qui se produit au cours de cette opération et lors du déchargement du lessiveur. Le gaz qui s'échappe du lessiveur au cours du fonctionnement est normalement récupéré par un circuit fermé d'autoclaves (les accumulateurs) entre le lessiveur et l'atelier de fabrication de l'acide. Il peut y avoir jusqu'à 75 kg de dioxyde de soufre par tonne de pâte émis dans l'atmosphère avec la vapeur lors de la décharge. Les émissions de dioxyde par les procédés au bisulfite et à haut rendement sont beaucoup moins importantes.

Le vidage du lessiveur (c'est-à-dire l'enlèvement de son contenu avec de la liqueur de lavage une fois que la pression normale a été rétablie) provoque beaucoup moins d'émissions que la décharge à pression élevée.

Dans beaucoup d'usines, chaque lessiveur a ses propres réservoirs ou fosses de décharge et ses propres cheminées (généralement appelées cheminées de décharge). Il est commode d'installer dans certains ateliers de défibrage au sulfite un nombre suffisant de rinceurs à l'eau dans les évents des réservoirs de décharge pour réduire les émissions. On peut aussi installer un laveur qui abaisse les émissions à moins de 5 kg/t de pâte.

5.5 Défibrage mi-chimique

Quand il est question de défibrage mi-chimique, il s'agit normalement de procédés dont les rendements se situent entre 60 et 80 p. 100. Au sens strict, les variantes à haut rendement du procédé au sulfite dont il a été question plus haut tomberaient dans la catégorie des procédés mi-chimiques, mais elles sont normalement décrites comme étant des procédés au sulfite à haut rendement.

Les méthodes de défibrage mi-chimique ont d'abord été mises au point pour permettre de traiter de grandes quantités de bois dur jusqu'alors inutilisées. À cause de leur rigidité, les pâtes de cette nature ont d'abord servi à la fabrication de papier ondulé et certains papiers pour impression ou écriture.

Le défibrage mi-chimique est un procédé en deux stades. Le bois réduit en copeaux est d'abord traité chimiquement dans un lessiveur et traité à nouveau dans un raffineur à disques pour un défibrage mécanique. Le rendement varie selon l'utilisation finale de la pâte et le degré d'intensité du traitement chimique. Une partie importante de la lignine (10 - 18 %) reste dans la pâte finale. La teneur en hémicellulose est également élevée, puisqu'elle est de 18 à 20 p. 100 pour les bois durs et de 8 à 10 p. 100 pour les bois mous.

La figure 20 montre un schéma simplifié du procédé. Les deux principales variantes utilisées sont le procédé au sulfite neutre et le procédé mi-chimique de pâte kraft.

5.5.1 Procédé mi-chimique au sulfite neutre. - Ici, la délignification est obtenue par sulfonation et hydrolyse de la lignine. Le sulfite de sodium est le principal agent de cuisson. La lessive est tamponnée pour éviter que des conditions alcalines et acides ne mènent à une décomposition des hémicelluloses. On obtient habituellement ce résultat en ajoutant du carbonate de sodium à la lessive. L'effet tampon permet de conserver les hémicelluloses, mais il retarde la délignification, dans une moindre mesure, cependant. Quand environ la moitié de la lignine est dissoute, la réaction ralentit considérablement. C'est à ce point que les produits de cuisson sont déchargés et que le défibrage est complété dans des raffineurs à disques.

La liqueur épuisée cause des problèmes d'élimination dans les plans d'eau récepteurs parce qu'elle contient des acides organiques. Comme elle contient relativement peu de matières organiques et beaucoup de matières inorganiques par rapport aux liqueurs des procédés à rendement inférieur, les techniques classiques de récupération par évaporation et combustion se sont avérées peu pratiques jusque dans les années 1960. Le recours à des réacteurs à lit fluidisé a rendu la combustion de ces liqueurs épuisées possible après une pré-concentration entre 30 et 35 p. 100 de matières solides, bien que ce procédé ne soit pas souvent économique. Les substances inorganiques et les sels organiques de sodium sont oxydés principalement en sulfate et en carbonate de sodium sous forme de granules. Ce produit est récupéré et vendu, quand c'est possible, à des usines de pâte kraft qui l'emploient comme produit d'appoint.

Une autre méthode acceptable d'élimination de la liqueur épuisée produite par ce procédé consiste à la livrer directement au système de récupération d'une usine classique de pâte kraft. Cette technique est appelée récupération croisée. Il est essentiel que l'usine de pâte kraft soit située tout près. La quantité de liqueur épuisée récupérée de la sorte ne peut toutefois excéder les pertes chimiques de l'usine de pâte kraft. Dans les vieilles usines de ce type, le rapport entre la production de pâte kraft et de pâte mi-chimique au sulfite neutre est en général entre 3/1 et 6/1, mais il y a parfois tellement peu de pertes de produits chimiques dans les usines modernes de pâte kraft que le procédé de récupération croisé n'est pas avantageux.

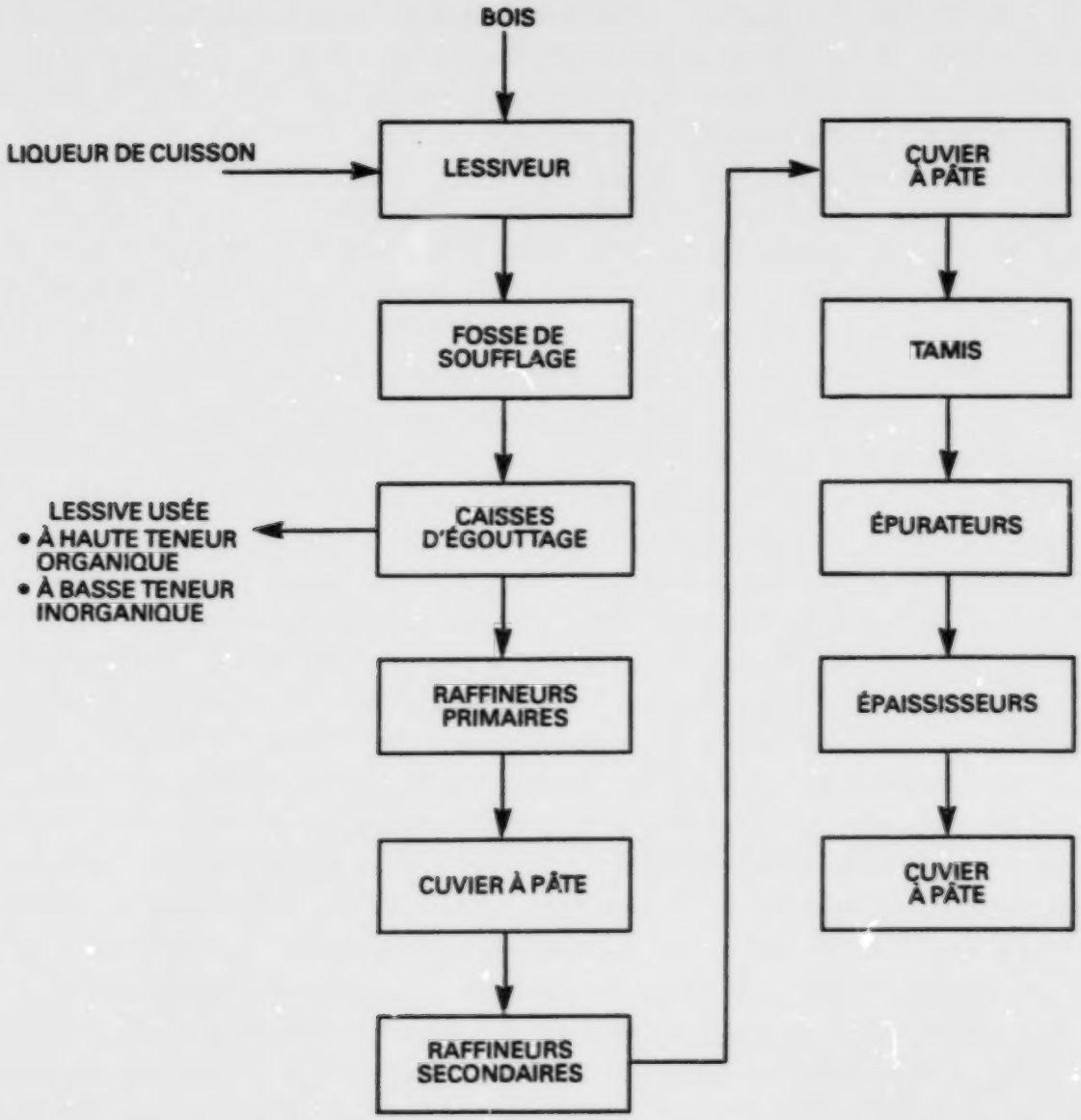

FIGURE 20 Système de réduction en pâte mi-chimique

5.5.2 Préparation mi-chimique de la pâte kraft. - La préparation mi-chimique de la pâte kraft (PSC) offre l'avantage de permettre la conversion des bois durs et des bois mous. Le rendement est inférieur au défibrage selon le procédé mi-chimique au sulfite neutre et se situe normalement entre 65 et 70 p. 100. La liqueur PSC est une liqueur blanche diluée que produit, normalement, une usine associée de pâte kraft. La cuisson dure habituellement moins de 30 minutes et se déroule entre 170 et 180 °C. Le raffinage est le même que dans le procédé au sulfite neutre, tandis que la liqueur PSCK est reprise par le système de récupératon de l'usine associée. Pour que le système PSCK soit exploité à un coût avantageux, il est essentiel qu'une usine classique de pâte kraft soit située non loin de là, bien qu'il n'existe pas de limite au rapport de capacité comme dans le cas de la récupération croisée dans le procédé au sulfite neutre.

5.5.3 Effluents. - La pâte mi-chimique est toujours transformée en papier sur place dans une usine intégrée. Dans certains cas, la pâte est lavée en extirpant autant que possible la liqueur épuisée dans une presse à vis; cela produit de petites pertes de fibres, nabituellement moins de 0,1 kg/t de pâte. L'effluent principal est constitué de la liqueur épuisée. L'effluent de la presse elle-même contient environ 15 p. 100 de matières dissoutes et une DBO d'environ 40 kg/t de pâte. La plus grande partie de la DBO restante est réduite par lavage de la pâte dans la machine à papier; elle est retrouvée dans l'eau blanche à une concentration de plusieurs centaines de mg/l. Quand la pâte n'est pas lavée, toute la DBO est retrouvée dans l'eau blanche de la machine à papier et elle est rejetée à l'égout avec l'eau blanche en excès.

Quand l'usine est pourvue d'un système de récupération des produits chimiques, toute la DBO est extraite de l'effluent de la presse (ou de tout autre équipement de lavage) et acheminée au système de récupération des produits chimiques où elle est annulée en bonne partie. Consulter la section 11 pour l'analyse des systèmes de récupération des produits chimiques.

Les papiers ondulés, un produit courant des usines de fabrication de pâte mi-chimique au sulfite neutre, ont la caractéristique de pouvoir contenir beaucoup plus de poussières et de substances dissoutes que la plupart des autres produits de papier. Cela permet la suppression de beaucoup de cycles de rinçage, ce qui n'est pas possible ailleurs sans nuire à l'efficacité du procédé. Il s'ensuit que la plus grande partie de la DBO est concentrée dans le filtrat produit par la presse. Ce filtrat peut être acheminé à un système de récupération ou, dans certains cas, être employé comme abat-poussière, ce qui évite d'avoir à la déverser à l'égout. Une usine de pâte mi-chimique au sulfite neutre à

circuit fermé peut ne déverser que 5 kg de DBO par tonne de pâte dans des conditions normales de fonctionnement. Une quantité supplémentaire de 2 à 20 kg de DBO par tonne peut être rejetée dans l'égout lors de déversements accidentels.

5.5.4 Émissions atmosphériques. - L'évent du lessiveur et l'atelier de préparation de l'acide de cuisson dégage du SO_2. Toutefois, compte tenu du pH élevé du système, les émissions sont habituellement mineures ou négligeables.

6 CLASSAGE ET ÉPURATION DE LA PÂTE

Des systèmes de tamisage et d'épuration sont installés dans différents secteurs de l'usine pour éliminer les matières peu souhaitables contenues dans la pâte à papier. Dans une usine de pâte, il existe habituellement un système de tamisage qui n'élimine pas complètement le bois trituré et les faisceaux de fibres. Dans les usines de pâte chimique, les tamis suivent habituellement les piles laveuses alors que dans les usines de pâte mécanique, ils sont situés immédiatement en aval des défibreurs ou des raffineurs, selon le cas. Dans les papeteries, certains équipements de tamisage et d'épuration sont normalement installés dans le secteur de traitement de la pâte et de nombreuses usines de kraft commercial tamisent et nettoient immédiatement la pâte chimique blanchie, avant de la sécher.

L'objectif du tamisage et de l'épuration de la pâte est d'éliminer les sédiments et les corps étrangers comme les éclats de bois, noeuds, écorces, sable et copeaux non cuits, etc. de la pâte, ce qui est habituellement réalisé par:

- un tamisage sur tamis à grosses mailles (également appelé tamis géant ou trieur de noeud),
- un tamisage sur tamis à mailles fines et
- des opérations sur tamis centrifuge.

Dans la plupart des cas, le tamisage sur tamis à grosses mailles précède le lavage et le tamisage sur tamis à mailles fines lui succède.

Les fines particules de poussières, particules abrasives et autres matières inacceptables sont éliminées par des épurateurs centrifuges. Les opérations de tamisage sur tamis à mailles fines et/ou d'épuration peuvent être réalisées après blanchiment dans le secteur de traitement de la pâte situé immédiatement en aval de la machine à papier. Leurs conceptions et fonctionnement varient dans ce cas, mais leurs principes restent identiques et l'équipement est semblable.

De façon générale, les tamis identifient et éliminent les impuretés de la pâte en fonction de leurs dimensions, alors que les épurateurs centrifuges utilisent principalement les différences de densité des matières pour séparer les impuretés.

6.1 Classage sur tamis à grosses mailles

Le tamis à grosses mailles est utilisé pour éliminer les matières de grandes dimensions comme les noeuds, éclats de bois et morceaux de bois non broyés. Les

dimensions de leurs mailles sont habituellement comprises entre 5 et 10 mm et ils peuvent être du type mécanique vibrant, rotatif ouvert ou rotatif centrifuge.

Dans les fabriques de pâte mécanique, les tamis les plus communs sont les tamis inclinés à grattoir, les tamis vibrants, les tamis rotatifs et les grilles à barreaux. Cette étape de l'épuration de la pâte est généralement connue sous le nom de tamisage grossier.

Dans les usines de pâte chimique, le tamis vibrant était autrefois utilisé généralement pour éliminer les noeuds et éclats de bois mais aujourd'hui, les tamis rotatifs centrifuges fermés (trieur de noeuds et d'éclats de bois sous pression) sont généralement utilisés dans les anciennes usines et presque toujours dans les nouvelles.

6.2 Classage sur tamis à mailles fines

Le classage sur tamis à mailles fines est utilisé pour éliminer les faisceaux de fibres et les particules de 4 à 20 fois plus grosses que la moyenne alors que le classage sur tamis à grosses mailles élimine les débris environ 90 fois plus gros. Parce qu'une épuration complète ne peut être réalisée en un seul passage à travers les tamis primaires, des tamis secondaires et tertiaires sont employés à cette fin. Le tamis vibrant plat utilisé pour cette épuration a été remplacé au cours des années 1950-1960 par le tamis centrifuge ouvert "Cowan", compact et à écoulement libre. Au cours des années 1970, les tamis fermés sous pression (tamis centrifuges noyés) ont commencé à remplacer les tamis ouverts et sont utilisés dans la plupart des nouvelles installations.

La terminologie actuelle prête à confusion. Le tamis centrifuge noyé est un tamis qui fonctionne sous pression sans surface liquide exposée à l'air libre. Pour l'ingénieur chimiste, une salle des tamis centrifuges noyés fonctionne sans effluent. Un grand nombre de salles modernes de classage comportent des tamis noyés mais débitent des effluents importants. Dans le présent guide, le terme "tamis sous pression" sera utilisé pour désigner ce dernier équipement.

La figure 21 montre un tamis sous pression ordinaire, de conception moderne. Le schéma d'un système de tamisage mécanique ordinaire a été présenté antérieurement à la figure 8, dans l'étude sur la fabrication de la pâte mécanique, comme étant un système étanche épurant les écoulements provenant principalement des rejets de l'épurateur tertiaire.

La figure 22 montre le schéma de circulation d'un système ordinaire de tamisage de pâte chimique. Comme pour les systèmes d'épuration de pâte mécanique, les principaux déchets épurés proviennent des opérateurs tertiaires et de l'excès de filtrat provenant des

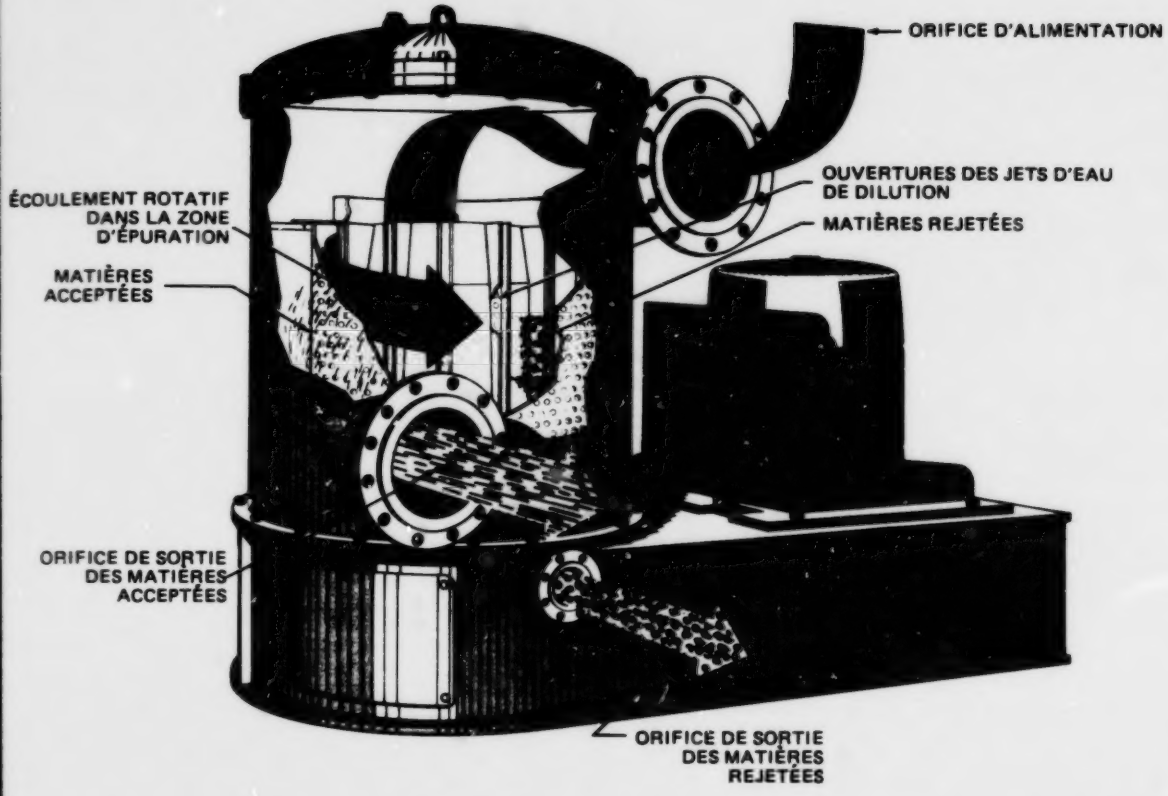

FIGURE 21 Tamis sous pression

épaississeurs qui ne peut être réutilisé comme eau de dilution dans les différentes parties du système.

Les tamis modernes ont normalement un fonctionnement optimum lorsqu'ils épurent un liquide contenant entre 1 et 2 p. 100 de matières étrangères environ.

6.3 Épuration

L'épurateur centrifuge est le dispositif utilisé le plus communément dans l'épuration de la pâte pour éliminer l'écorce, le sable, les particules abrasives et d'autres petites particules. La figure 23 montre le schéma d'un épurateur centrifuge. La séparation provient principalement de la différence de densité entre les débris et la pâte acceptable.

La pâte diluée est versée tangentiellement dans le corps du séparateur conique, afin qu'elle s'y introduise selon un mouvement tournant descendant rapide. Les particules à petite surface et les débris très denses se déplacent vers la paroi du cône, puis vers le

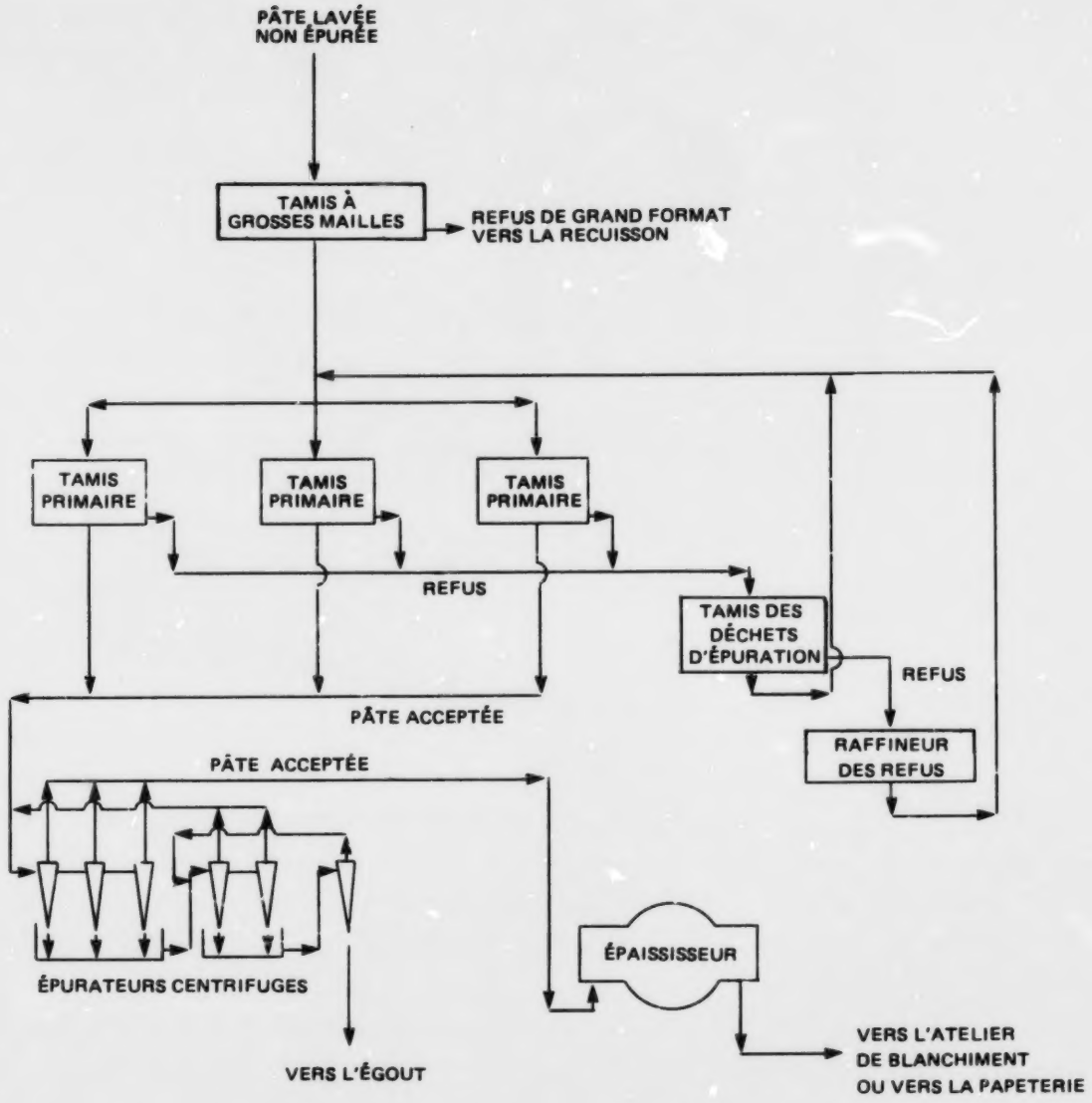

FIGURE 22 Système de tamisage et d'épuration de la pâte chimique

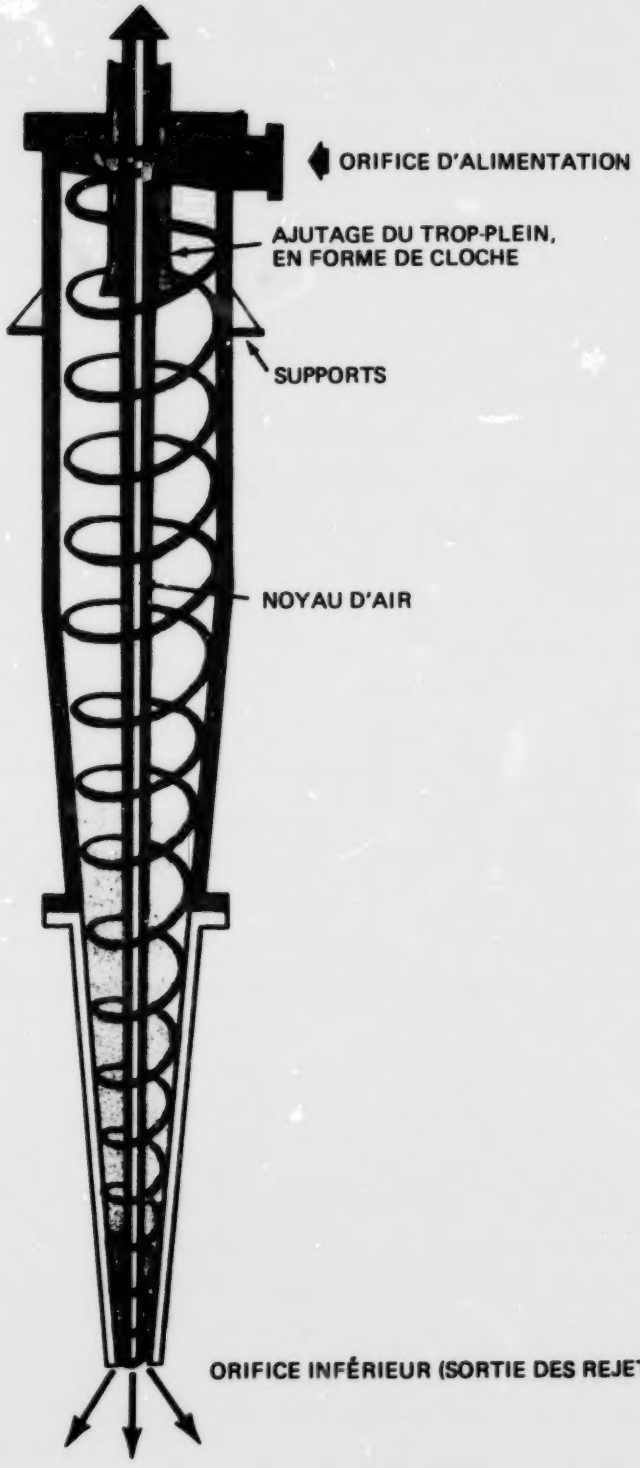

FIGURE 23 Épurateur centrifuge (Bauer)

bas et convergent dans l'orifice de sortie des rejets. Le vortex ascendant créé au centre du cône transporte les fibres plus propres et plus légères jusqu'à l'orifice de sortie des matières acceptables. Des stades secondaires et tertiaires d'épuration sont employés pour épurer les rejets provenant des étapes d'épuration précédentes, et récupérer la plus grande partie des fibres utilisables. Dans de nombreuses usines, l'opération d'épuration suit celle du classage sur tamis à grosses mailles alors que dans d'autres usines elle suit les opérations de classage sur tamis à mailles fines.

L'épurateur centrifuge épure normalement des liquides contenant entre 0,5 p. 100 et 1 p. 100 de matières sèches, ce qui complique toute opération d'épuration effectuée avant le classage sur tamis à mailles fines parce que ces tamis fonctionnent mieux lorsqu'ils épurent des liquides plus concentrés et exigent un processus de déshydratation.

6.4 Épaississement

Après le tamisage et/ou l'épuration, la pâte à une concentration d'environ 0,5 p. 100 est habituellement épaissie ou déshydratée jusqu'à une teneur comprise entre 3 et 14 p. 100, selon les exigences de l'utilisation et de l'entreposage, ce qui permet d'économiser sur l'espace d'entreposage et de minimiser la répercussion des arrêts de production dans les différents secteurs du système. S'il est souhaitable de mélanger continuellement la pâte entreposée, la consistance de la pâte épaissie ne doit pas excéder 4 p. 100. Lorsqu'il n'est pas nécessaire de la mélanger et que la capacité d'entreposage doit être maximisée, cette concentration est d'environ 12 p. 100. L'eau éliminée au cours de l'épaississement est habituellement recirculée pour être éventuellement réutilisée ailleurs pour le lavage et le tamisage, ou elle est déversée dans l'égout.

Les épaississeurs utilisés sont soit des épaississeurs par gravité, soit des filtres à vide. Ces opérations de déshydratation peuvent être réalisées après le lavage de la pâte, après le tamisage sur tamis à mailles fines ou avant et après le blanchiment.

L'épaississeur par gravité épaissit la pâte jusqu'à une consistance comprise entre 4 et 8 p. 100. Il consiste essentiellement en une cuve pour diluer la pâte et un cylindre recouvert d'un treillis métallique pour la déshydrater. Dans la cuve, le niveau de la pâte est maintenu à environ 0,5 m de la partie supérieure du cylindre alors que, dans celui-ci, le niveau de l'eau est maintenu bas pour augmenter l'écoulement par gravité qui provoque l'écoulement de l'eau dans le cylindre et l'accumulation d'un matelas de pâte à sa surface.

Le filtre à vide utilisé pour l'épaississement est semblable à celui qui a été décrit précédemment pour le lavage de la pâte au paragraphe 5.3.2. Des consistances comprises entre 10 et 20 p. 100 peuvent être obtenues. Par comparaison avec les épaississeurs, les

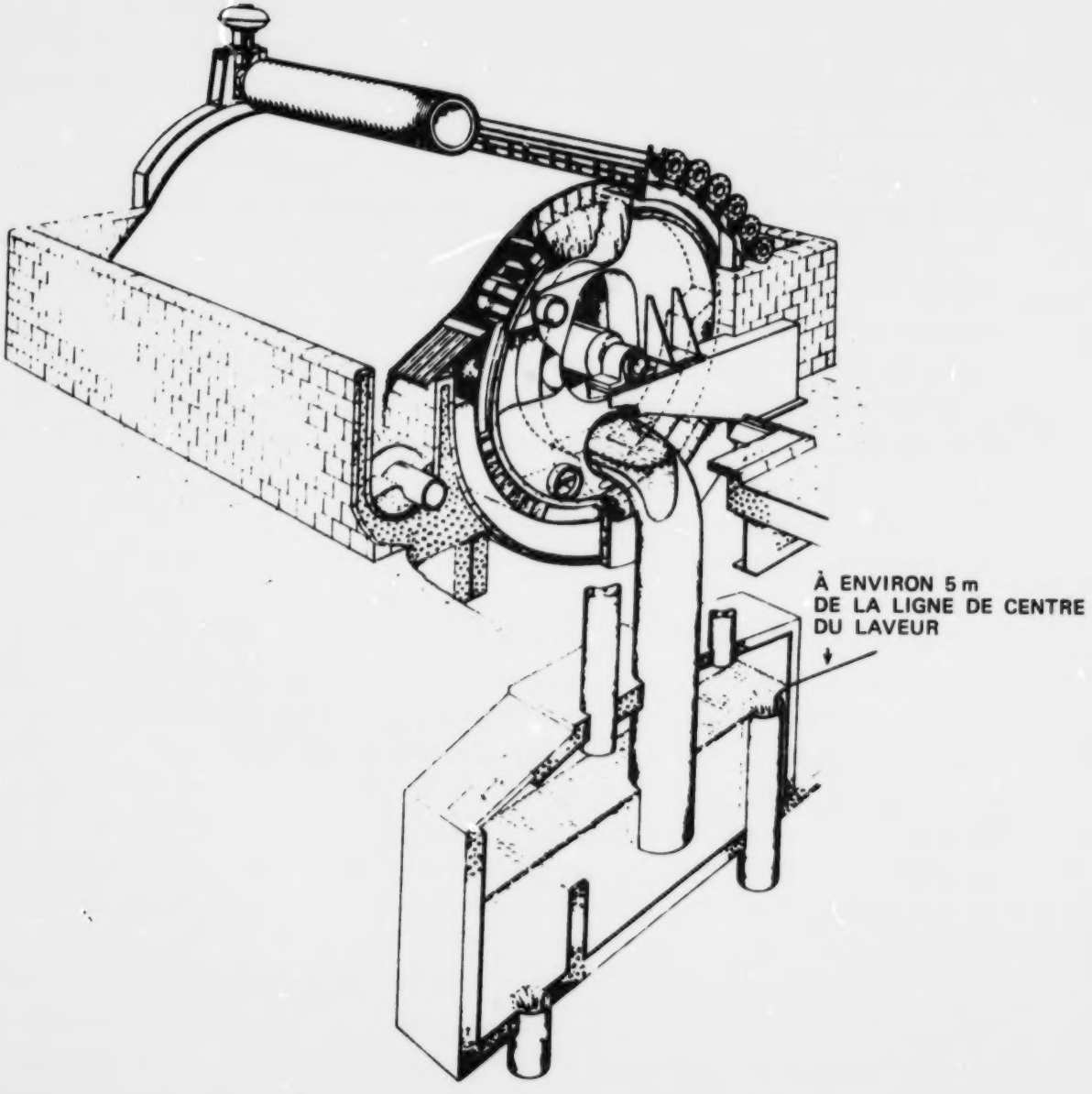

FIGURE 24 Filtre à vide à tambour

filtres à vide présentent les avantages suivants: diminution de l'espace au sol requis, diminution des pertes en fibres et diminution de l'entretien. La figure 24 montre une unité ordinaire de filtre à vide. Dans certains cas, le vide est obtenu par l'intermédiaire d'une pompe à vide.

Pour épurer les pâtes à drainage lent comme les pâtes mécaniques ou les pâtes pour la fabrication de papiers spéciaux, la plupart des installations ont utilisé depuis 1970 environ un filtre à disques qui fonctionne sur le même principe que le tambour à vide décrit ci-dessus mais dont le milieu de filtration est réparti sur plusieurs disques parallèles montés sur un axe commun. Ils sont plus compliqués que les filtres à tambour mais peuvent habituellement être conçus de façon à donner un filtrat plus limpide.

Dans de nombreuses usines, tous les dispositifs utilisés pour épaissir la pâte après le tamisage, épaississeurs par gravité ou épaississeurs à vide, sont appelés épaississeurs.

6.5 Lavage dans l'atelier de tamisage

Dans le cas des usines de kraft et celui de quelques usines de pâte au bisulfite comportant des systèmes de récupération de produits chimiques, il est évidemment possible d'utiliser le système de tamisage-épuration-épaississement comme une étape traditionnelle de lavage.

Les opérations successives de dilution et d'épaississement effectuées dans un atelier de classage, combinées à un temps de contact de plusieurs minutes et à l'action mécanique des tamis, transfèrent la matière organique dissoute des fibres dans l'eau blanche. Ordinairement, les ateliers de tamisage utilisent de grandes quantités d'eau d'appoint pour laver la pâte très soigneusement avant toute opération de blanchiment, ce qui occasionne le déversement de grosses quantités d'eau blanche dans l'égout, on l'appelle "eau blanche non blanchie" dans de nombreux documents.

Si le débit d'eau d'appoint pouvait être diminué de façon à être égal au débit d'eau de rinçage nécessaire pour alimenter les laveurs de pâte, l'atelier de tamisage ne produirait pas d'effluent (à l'exception des rejets qui pourraient être mis au rebut sous une forme relativement sèche dans les sites d'enfouissement) et la matière organique contenue dans les produits chimiques de la liqueur de cuisson épuisée serait renvoyée en totalité à l'usine de récupération des produits chimiques. Cette méthode comporte toutefois de nombreuses difficultés pratiques et, jusqu'à la fin des années 1970, relativement peu de papeteries comportaient des ateliers de tamisage fonctionnant en circuit fermé. Des considérations environnementales ont fait progresser le tamisage en circuit fermé parce qu'il constitue une condition sine qua non du blanchiment à l'oxygène et le procédé de fabrication de pâte kraft en circuit fermé Rapson-Reeve.

Dans l'atelier de tamisage des usines de pâte kraft, le moussage constitue un problème important et, dans la plupart des cas, l'opérateur a pour seule solution d'utiliser suffisamment d'eau de dilution pour ramener les teneurs en matières dissoutes à la concentration à laquelle la quantité de mousse formée est acceptable. Un lavage très efficace fait avant le tamisage élimine une grande partie de la liqueur noire résiduaire et diminue la formation de mousse dans l'atelier de tamisage, ce qui aide le système à fonctionner en circuit fermé. Des systèmes modernes de filtrage utilisant des filtres sous pression et comportant des réservoirs suffisamment volumineux pour permettre à l'air entraîné de se séparer effectivement de la pâte et de l'eau blanche conviennent mieux aux systèmes en circuit fermé. La pâte provenant du lavage par diffusion est moins susceptible de mousser que celle qui provient des tambours laveurs parce que ces derniers emprisonnent l'air. De plus, certaines espèces de bois constituent un facteur important de la production de la mousse. Des additions de produits chimiques antimoussants constituent une solution partielle à ce problème, mais sont coûteuses.

Si la pâte n'était pas lavée adéquatement avant le filtrage, le processus de l'atelier de tamisage en circuit fermé consommerait des quantités importantes de produits chimiques de blanchiment et augmenterait éventuellement la toxicité de l'effluent de l'usine en augmentant la teneur en composés de lignine chlorés déversés. La figure 15 indique que la fermeture complète du circuit hydrique de l'atelier de tamisage a les mêmes répercussions sur la DBO déversée dans l'égout que l'addition d'un quatrième stade de lavage; cette diminution de la DBO se produit ordinairement, mais l'importance exacte de ses répercussions varie légèrement. Dans de nombreux cas, quatre stades de lavage sont nécessaires avant le tamisage pour éviter la formation d'une quantité excessive de mousse.

6.6 Effluents et déchets solides

Dans une étude des usines de kraft faite par le Comité de la mise en pâte alcaline de la Section technique de l'Association des producteurs de pâtes et papiers du Canada (APPPC), le poids des fibres rejetées était indiqué comme étant compris entre 1 et 5 kg/t produite pour une série d'usines de kraft, quantité qui serait comprise entre une et trois tonnes par jour pour une usine de 600 t/d. Les données du bilan hydraulique du filtrage et de l'épuration de la pâte écrue sont les suivantes:

- eau pure utilisée 3,3 - 23 m^3/tpsf (tonne de pâte séchée au four)
- eau blanche de blanchiment utilisée 1,2 - 8 m^3/tpsf

- eau blanche non blanchie utilisée 15 - 10 m^3/tpsf
- eau déversée dans l'égout 0,8 - 16 m^3/tpsf

Des données plus récentes indiqueraient une modeste diminution de ces valeurs, particulièrement pour des usines récemment construites.

Dans le cas des usines de pâte mécanique, les rejets des filtres sont presque toujours raffinés et récupérés parce qu'ils sont principalement composés de bois partiellement mis en pâte. Les teneurs des rejets les plus propres varient entre environ 2 et 10 kg/t de pâte qui peuvent être déversés dans l'égout, déshydratés pour être enfouis dans des décharges, ou incinérés.

Dans d'autres types d'usines, les rejets des tamis peuvent être déversés dans l'égout ou mis au rebut dans des sites d'enfouissement; cette quantité s'élève ordinairement à quelques kilogrammes par tonne de pâte. Les rejets les plus propres contiennent en général de grandes quantités de sable et d'autres matières non fibreuses et ils ne peuvent pas être recyclés. Ils sont habituellement déversés dans l'égout mais ils peuvent également être déshydratés et enfouis dans des décharges. Leur quantité dans la pâte dépend très étroitement de la propreté du bois et des déchets de papier utilisé et peut varier entre 1 kg et 30 kg/t, dans les cas extrêmes. Lorsque les rejets plus propres contiennent des quantités importantes de fibres, une amélioration des méthodes d'exploitation ou, plus souvent, un meilleur équipement d'épuration sont habituellement souhaitables.

6.7 Émissions atmosphériques

Les évents de l'épaississeur et son réservoir étanche contiennent de très petites quantités de MSTR (matières solides totales résiduaires) dans les usines de kraft et sont parfois raccordés au système de contrôle des odeurs du laveur de pâte écrue. L'atelier de tamisage ne dégage pas d'autres émissions atmosphériques importantes.

7 BLANCHIMENT

Les pâtes produites par les méthodes de réduction en pâte mécanique ou chimique sont d'une couleur qui se situe entre brun foncé et blanc crémeux, selon le type de bois et le procédé de réduction en pâte utilisés. Alors qu'une grande partie de la pâte produite est utilisée non blanchie pour fabriquer des boîtes en carton, des sacs, du papier journal, du papier d'emballage, etc., plus de la moitié de cette pâte est blanchie pour fabriquer des produits de papier blanc. Le blanchiment est l'élimination ou l'altération des substances absorbant la lumière présentes dans la pâte non blanchie.

Les principales substances absorbant la lumière contenues dans la pâte de bois sont des dérivés de la lignine, de la résine, des ions métalliques et des composants ne contenant pas d'hydrates de carbone provenant des bois originaux. La cellulose et les hémicelluloses ne colorent pas la pâte parce qu'elles sont intrinsèquement blanches. Les dérivés de la lignine constituent les principaux composants colorés de la pâte. On croit généralement que pendant la réduction en pâte chimique, des complexes absorbant la lumière sont formés à partir des groupes phénoliques de la lignine et constituent la cause pour laquelle la couleur de la pâte est plus foncée que celle du bois original. Un grand nombre de facteurs complexes contribuent à une perte de blancheur relativement faible pendant le broyage et le raffinage dans les processus de réduction en pâte mécanique.

Antérieurement, le blanchiment était principalement réservé aux pâtes chimiques mais, ces dernières années, certaines pâtes mécaniques de haut rendement sont également blanchies pour fabriquer des produits répondant à des normes plus strictes.

7.1 Mesurage du degré de blancheur

Lorsqu'une surface a la capacité de réfléchir entièrement et de façon diffuse toutes les couleurs du spectre solaire, et dans la bonne proportion, on dit que cette surface réfléchissante est d'un blanc pur, comme celle d'un bloc d'oxyde de magnésium. L'absorption d'une ou de plusieurs longueurs d'ondes produit des modifications visibles des couleurs. L'évaluation et la comparaison des degrés de blancheur exigent l'existence d'un système de mesurage, une norme de référence et un équipement d'essai approprié.

Dans l'industrie, la blancheur normale a été arbitrairement choisie comme étant la réflectance observée d'un échantillon doublé d'une couche opaque de sa propre matière, illuminé par une onde lumineuse de 457 nm de longueur. La réflexion dans la zone bleue du spectre (457 nm) a été choisie à l'origine comme unité de blancheur parce que, de toutes

les mesures à valeur simple du potentiel de blancheur du produit final, la réflectance de la lumière bleue est la plus sensible et la plus pertinente.

Pour mesurer la réflectance, les deux photomètres suivants sont principalement utilisés aujourd'hui:

- le General Eiectric Brightness Meter (photomètre de mesure de la blancheur de la Compagnie Générale Électrique) et
- le photomètre de mesure de la réflectance photoélectrique Elrepho.

À cause de sa géométrie optique, le photomètre Elrepho dépend beaucoup moins de la surface de la feuille que le photomètre GE et n'exige par conséquent pas que les procédés de fabrication de la feuille soient strictement appliquées. La différence des valeurs de la blancheur obtenues à l'aide de ces deux photomètres ne sont habituellement que de quelques dixièmes. Cette différence a peu d'importance dans les études générales comme celles du présent guide, mais elle est souvent très importante dans certains cas particuliers.

7.2 Blanchiment de la pâte mécanique

Les exigences de blancheur des applications de la pâte mécanique ne sont pas aussi rigoureuses que celles des pâtes chimiques et sont généralement comprises entre 60 et 75 GE. La blancheur des pâtes mécaniques non blanchies est habituellement comprise entre 50 et 65 degrés GE, selon les conditions d'exploitation et les espèces de bois utilisées. L'épinette et le sapin baumier sont les espèces les meilleures pour obtenir des blancheurs comprises entre 58 et 64 GE, le pin gris pour les blancheurs comprises entre 55 et 59 GE et la pruche de l'Ouest pour des blancheurs comprises entre 51 et 56 GE. L'objectif du blanchiment de la pâte mécanique est principalement de décolorer la pâte sans solubiliser la lignine, ce qui s'accomplit habituellement à l'aide d'agents réducteurs ou oxydants. Ces deux types d'agents procurent des augmentations de blancheur semblables bien que la réversibilité du blanchiment causée par les agents réducteurs soit plus forte que celle qui est causée par les agents oxydants. Le tableau 10 montre les prévisions d'augmentation de la blancheur pour différents agents de blanchiment. Les hydrosulfites sont les agents de blanchiment les plus communément utilisés.

Les peroxydes constituent d'excellents agents de blanchiment lorsqu'une très grande blancheur est requise, mais ils sont plus coûteux que les hydrosulfites. Le processus de blanchiment à deux stades, au peroxyde et à l'hydrosulfite possède le plus grand

TABLEAU 10 PROCESSUS DE BLANCHIMENT POUR LES PÂTES MÉCANIQUES

Processus de blanchiment	Méthode habituelle d'application	Augmentation de la blancheur en unités GE
Agents réducteurs		
Bisulfite de sodium	Appliqué aux broyeurs ou aux copeaux avant le raffinage	1 - 4
Hydrosulfite de sodium	Ajouté à la pâte avant qu'elle n'entre dans la tour ou le cuvier de réserve	3 - 6
Hydrosulfite de zinc	Inacceptable pour l'environnement	
Borohydrure de sodium	Non utilisé commercialement	-
SO_2-Borol	Ajouté petit à petit à la pâte avant le cuvier de réserve	10
Agents oxydants		
Hypochlorite de calcium Hypochlorite de sodium	Limités aux feuillus, additionnés en amont du cuvier de réserve	10 - 12
Peroxyde d'hydrogène	Utilisé habituellement au cours du procédé de la tour, parfois dans le presse-pâte	10 - 14
Peroxyde de sodium Acide péracétique	Non utilisés commercialement	10
Agents combinés		
Peroxyde-hydrosulfite	Procédé de la tour	12 - 18

potentiel de blanchiment, mais est coûteux. Les pertes de rendement causées par le blanchiment de la pâte mécanique sont vraisemblablement inférieures à 1 p. 100 selon les conditions et les produits chimiques utilisés. Les matières dissoutes sont principalement des matières organiques et s'ajoutent à la charge de DBO de l'usine. Dans certains cas

extrêmes où une augmentation importante de la blancheur est requise, les pertes de rendement peuvent aller jusqu'à 4 p. 100, ce qui pourrait ajouter jusqu'à environ 25 kg de DBO/t de pâte dans l'effluent de l'usine.

L'utilisation de l'hydrosulfite de zinc pour le blanchiment a été interdite par certaines administrations environnementales et n'est plus autorisée au Canada parce que le zinc est un métal lourd et a tendance à s'accumuler chez le poisson.

7.3 Blanchiment de la pâte chimique

Le blanchiment de la pâte chimique est souvent considéré comme étant une prolongation de la délignification qui a commencé au stade de la digestion. La blancheur initiale des pâtes kraft non blanchies est d'environ 20 alors que celle de la pâte au sulfite non blanchie est d'environ 60. Il est par conséquent plus difficile de blanchir la pâte kraft jusqu'à une blancheur donnée. Les pâtes au sulfite peuvent être blanchies jusqu'à une forte blancheur (90 et plus) à l'aide d'une séquence d'opérations de blanchiment en trois étapes: chloration, extraction à la soude caustique et blanchiment à l'hypochlorite, alors que le processus de blanchiment de la pâte kraft normale comporte habituellement six stades consécutifs pour obtenir la même blancheur.

7.3.1 Blanchiment classique. - Il existe plusieurs variantes du blanchiment de la pâte chimique; le blanchiment suivant constitue un cas représentatif:

- Stade de chloration (C) au cours duquel l'addition de Cl_2 à la pâte solubilise la plus grande partie de la lignine résiduaire par des réactions de substitution et d'addition. La pâte chlorée est ensuite lavée et épaissie avant de passer au stade de l'extraction des substances alcalines. Un tiers environ des produits de la lignine chlorée sont éliminés par le lavage. Le filtrat du laveur par chloration contient une forte teneur en DBO et des quantités considérables de composés de lignine chlorée colorée. Ce filtrat est normalement déversé dans l'égout.
- Stade d'extraction à la soude caustique (E), qui comprend l'addition d'hydroxyde de sodium à la pâte pour éliminer les produits résiduaires de la réaction qui ont été incomplètement solubilisés dans la phase aqueuse acide de l'étape de chloration, mais qui sont facilement dissous en milieu alcalin. L'épuration alcaline de la pâte élimine également les matières résineuses, pentoses et autres hydrates de carbone de faible poids moléculaire. Les épurations alcalines douces n'influent pas sur la qualité de la pâte à papier. L'extraction alcaline est employée après chaque stade intermédiaire de blanchiment par oxydation et est suivie de l'épaississement et du lavage de la pâte. Le

filtrat de la première étape d'extraction est très riche en composants colorés dissous, et il est aussi l'effluent le plus toxique d'un système de blanchiment de pâte kraft. Le filtrat du premier stade d'extraction est normalement déversé dans l'égout.

- Autres stades du blanchiment par oxydation. Après la chloration et l'extraction, au moins une étape de blanchiment par oxydation est requise pour obtenir une pâte commercialement blanche. L'hypochlorite de sodium (H) et le dioxyde de chlore (D) sont les produits chimiques de blanchiment par oxydation les plus communément utilisés.

Les pâtes au sulfite après les étapes C (chloration) et E (extraction) ont une blancheur d'environ 70 qui peut habituellement être portée facilement à 90 à l'aide d'une étape additionnelle d'oxydation.

La blancheur des pâtes kraft, après les étapes C et E est d'environ 30 et trois étapes additionnelles ou plus sont requises pour atteindre la blancheur 90. La séquence d'opération CEHEH sur une pâte kraft permet d'obtenir une blancheur d'environ 85. La découverte du potentiel de blanchiment du dioxyde de chlore vers 1946 a permis de blanchir les pâtes kraft jusqu'à 90 et plus sans diminuer la résistance du papier. Deux des séquences d'opération de blanchiment de pâtes kraft les plus communément utilisées aujourd'hui sont les séquences CEDED et CEHDED.

La figure 25 montre un schéma de circulation d'une usine de blanchiment ordinaire en cinq stades. Ce diagramme montre également les deux types de recirculation de l'eau utilisés dans une usine de blanchiment. À chaque stade, le filtrat de l'enveloppe

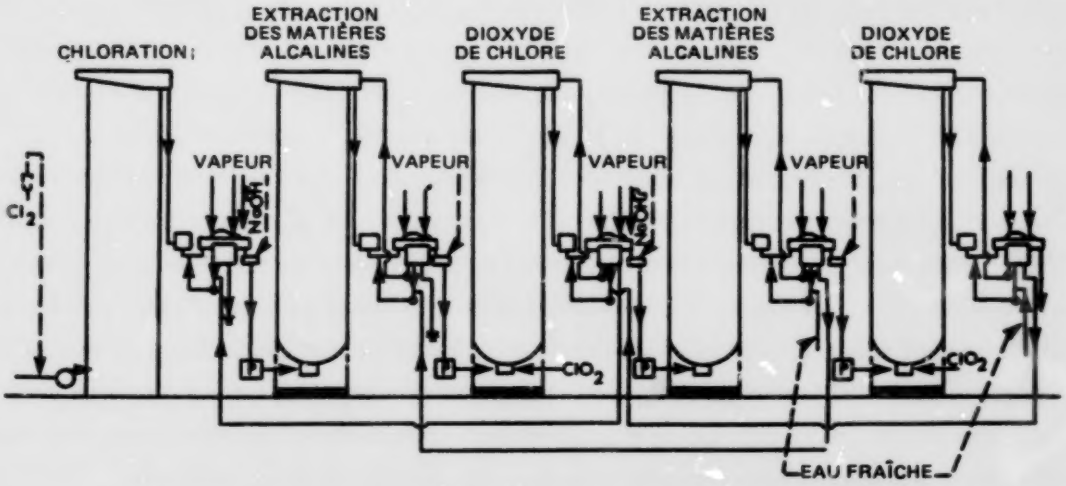

FIGURE 25 **Diagramme de fonctionnement d'un atelier de blanchiment en cinq étapes (CEDED) (Monographie 27 de la TAPPI)**

d'étanchéité du laveur peut être réutilisé pour diluer et transporter la pâte entrant dans le même laveur, ce qui représente une quantité très importante de filtrat (ordinairement 100 m^3/t de pâte) mais, parce que ce filtrat est recyclé à l'intérieur de l'enveloppe, la demande d'eau extérieure du système est minime. L'autre méthode de recyclage comprend le transfert de l'excès de filtrat des enveloppes d'étanchéité du laveur final aux stades antérieurs, ce qui maintient ainsi un débit à contre-courant du filtrat, qui va du secteur de la pâte blanchie à celui de la pâte non blanchie de l'usine. L'utilisation d'eau douce ou d'eau blanche dans les rinceurs fait que la bande de papier entrant dans chaque étape de blanchiment est relativement exempte de matières organiques dissoutes qui auraient sinon consommé des produits chimiques de blanchiment. Pour consommer le moins d'eau possible en fonction de la technique ordinaire de blanchiment, seul le trop-plein des stades de chloration et du premier stade d'extraction à la soude caustique est déversé dans l'égout.

7.3.2 Effluents des usines classiques de blanchiment. - Une étude de l'eau des usines de kraft réalisée en 1970 par le Comité de la mise en pâte alcaline de l'APPPC a indiqué une forte variabilité des filtrats de différentes usines déversés dans les égouts. Les plages approximatives des volumes des différents courants étaient les suivantes:

Eau blanche non blanchie	3 à 14 m^3/t
Filtrat de la première chloration	22 à 62 m^3/t
Filtrat de la première extraction à la soude caustique	7 à 17 m^3/t

Il ressort d'une étude de la lutte contre la pollution faite en coopération au début des années 1970 et portant sur la réutilisation et le recyclage de l'eau dans les usines de blanchiment, "Water Re-Use and Recycle in Bleacheries", par J. Histed (disponible chez Environnement Canada), que le plus faible volume d'effluents d'une usine classique de blanchiment à cinq stades était de 30 m^3/t, ce qui ne comprenait pas l'effluent de l'épaississeur de pâte non blanchie. Un certain nombre des usines de blanchiment utilisant la technique classique produisant l'effluent le plus faible en Amérique du Nord aujourd'hui emploient un lavage complet à contre-courant et produisent des effluents dont le volume n'est que de 25 m^3/t environ. D'importantes quantités d'eau pure ou d'eau blanche sont habituellement ajoutées aux rinceurs des laveurs finals de l'étape de blanchiment et aux premiers rinceurs du laveur de l'étape de chloration tandis qu'une petite quantité de l'une ou l'autre de ces eaux est ajoutée aux rinceurs des stades intermédiaires. Une étude semblable faite aujourd'hui donnerait des plages de données comparables mais indiquerait que beaucoup d'usines étaient près d'obtenir des débits plus faibles, tels que ceux enregistrés dix ans auparavant.

Au début des années 1970, des pressions environnementales ont incité à réaliser un certain nombre de recherches approfondies pour déterminer la composition, la DBO, la DCO, la couleur et la toxicité des effluents d'usine de blanchiment. Les données obtenues ont montré que, dans la plupart des usines, le courant le plus toxique du processus de blanchiment est le filtrat de lavage du premier stade d'extraction à la soude caustique qui est suivi, par ordre décroissant de toxicité, du filtrat de l'épaississeur de pâte non blanchie, de l'effluent de chloration et de l'effluent combiné de l'exutoire de l'usine. Les données d'une étude de sept usines de kraft réalisée pendant une période de 40 jours et signalée dans le rapport 10-1 du projet CPAR ont classé la toxicité et la DBO_5 des courants de l'effluent comme l'indique le tableau 11.

TABLEAU 11 CARACTÉRISTIQUES ORDINAIRES DE L'EFFLUENT DES USINES DE PÂTE KRAFT BLANCHIE

	Temps médian de survie (minutes)	DBO_5 (mg/l)
Filtrat de la première extraction à la soude caustique	136	235
Filtrat de l'épaississeur de pâte non blanchie	207	227
Effluent de la chloration	449	155
Effluent combiné de l'exutoire de l'usine	728	195

Les valeurs de TMS mentionnées indiquent le temps médian de survie jusqu'au décès de 50 p. 100 des saumons coho exposés à des effluents non dilués des différents effluents. Tous les mesurages de la toxicité ont été faits avec des échantillons purifiés par barbotage d'air, filtrés et neutralisés. La concentration d'oxygène dissous des échantillons était maintenue à saturation pour que la cause du décès soit la toxicité et les composants non volatiles de l'effluent et non le manque d'oxygène.

En classant la toxicité et la DBO des différents effluents, l'étude a également montré qu'il existait une disparité considérable d'une usine à l'autre et dans une même usine, ce qui n'est pas surprenant étant donné les variations de la plage des bois et des

processus utilisés et des débits des effluents. À l'époque où l'étude a été effectuée, de nombreuses usines ne disposaient d'aucun moyen pour déterminer ces débits avec précision. On y indiquait également que la connaissance de la DBO ne permettait pas de prévoir la toxicité probable d'un échantillon donné et que, dans les effluents, on mesurait entre 10 700 et 33 700 kg de DBO/d, ce qui correspondait de 17,5 à 47 kg de DBO/t de pâte séchée à l'air. Les effluents d'usine de blanchiment sont toxiques pour le poisson et, dans la plupart des usines de kraft, ils constituent la source simple de toxicité la plus importante de l'effluent total. Étant donné que les lignes directrices sur la toxicité contenues dans les règlements fédéraux sont basées sur la concentration, la toxicité des effluents des usines modernes de blanchiment a tendance à être plus forte que celle des installations plus anciennes qui utilisent de très importantes quantités d'eau douce produisant de forts débits d'effluents.

Une usine de blanchiment constitue habituellement la principale source de la couleur brune foncée qui caractérise les effluents des usines de pâte blanchie. L'effluent du stade d'extraction à la soude caustique constitue normalement de loin la cause la plus importante de cette couleur, dont le degré peut être compris ordinairement entre 20 000 et 50 000 unités APHA. L'effluent de l'atelier de tamisage (appelé fréquemment eau blanche non blanchie), l'usine de récupération et les égouts des usines de pâte kraft peuvent également être des sources importantes de couleur si le lavage de la pâte est insuffisant ou s'il y a des déversements fréquents de liqueur noire.

7.3.3 Variations des processus du blanchiment classique. - Différentes modifications ont été proposées pour les procédés de base de blanchiment de la pâte kraft décrits ci-dessus, dans le but d'améliorer la qualité de l'effluent.

Le remplacement partiel du chlore par le dioxyde de chlore au cours du premier stade de blanchiment est une méthode couramment utilisée, à présent. On prétend qu'elle diminue de façon importante la toxicité des effluents d'usine de blanchiment et, dans certains cas, qu'elle atténue légèrement la couleur et la DBO. Les résultats obtenus dans différentes usines indiquent toutefois des variations considérables.

L'utilisation accrue de l'hypochlorite de sodium ou de calcium semble diminuer la couleur de l'effluent et certains essais réalisés en usine par MacMillan Bloedel au début des années 1970 ont indiqué qu'il était possible d'obtenir une diminution de 80 p. 100 de la couleur, avec toutefois une augmentation du coût des produits chimiques. L'applicabilité de telles modifications varie selon les usines parce que les espèces de bois et l'efficacité du lavage de la pâte écrue ont une influence importante sur le processus.

7.3.4 Blanchiment par déplacement. - Dans le blanchiment par déplacement, les produits chimiques en solution et l'eau de lavage se déplacent à travers la pâte, perpendiculairement à sa trajectoire continue. La consistance de la pâte est comprise entre 8 et 10 p. 100. L'équipement est semblable à celui des laveurs par diffusion décrit au chapitre qui traite du lavage de la pâte écrue. La majeure partie de ce processus est installée dans une seule tour de blanchiment par déplacement, ce qui diminue la consommation d'eau grâce à l'élimination de la dilution entre les stades, et qui réduit de façon importante les besoins en espace de l'usine de blanchiment. Environ une douzaine de ces usines sont en exploitation, mais il n'y en a aucune au Canada.

Le blanchiment par déplacement constitue, en fait, une variante du procédé classique parce qu'il n'entraîne aucune diminution réelle de la DBO, DCO, couleur ou déversement de matière organique, bien qu'il les rende plus faciles à traiter en diminuant de façon importante le volume de l'effluent. On a signalé des effluents dont le volume était de 10 m^3/t, mais celui de l'effluent de la plupart des usines de blanchiment par déplacement est d'environ 15 m^3 d'effluent par tonne de pâte.

7.3.5 Blanchiment par l'oxygène. - Cette innovation mise au point à la fin des années 1960 comprend l'élimination des deux premiers stades classiques de blanchiment qui sont la chloration et l'extraction à la soude caustique. Il consiste à épurer la pâte en milieu alcalin à l'aide d'oxygène sous pression. Environ la moitié de la DCO, de la DBO et de la couleur restent dans l'effluent du stade d'oxygénation qui est exempt de chlorures, de sorte que le volume de l'effluent final peut être très faible, à condition d'avoir introduit les effluents dans le cycle de récupération de la pâte kraft. Par comparaison avec la séquence OCEDED et la séquence CEHDED, les réductions suivantes ont été obtenues:

la DBO_5 est diminuée de	50 p. 100
la DCO est diminuée de	40 p. 100
la couleur est diminuée de	60 p. 100

Dans chaque cas, la diminution réelle dépend du degré de délignification au cours du stade d'oxygénation et, dans certains cas, elle peut être plus faible, soit à cause de la conception, soit à cause des limites de l'équipement. Au moment où nous rédigeons le présent rapport, plusieurs systèmes de blanchiment par l'oxygène fonctionnent dans le monde entier et notamment deux au Canada.

7.3.6 Processus Papribleach. - Ce processus est basé sur l'application d'ammoniac aux pâtes chimiques contenant des concentrations comprises entre 20 et 40 p. 100 de pâte à

l'état de peluches. Les séquences d'opérations $C_gED_gED_g$ (où g signifie en phase gazeuse) du Laboratory Papribleach produisaient des pâtes blanchies dont la pureté était égale ou excédait celle des pâtes obtenues par la séquence classique d'opérations CEDED. Les travaux réalisés en laboratoire au début des années 1970 ont indiqué que la séquence $C_gNH_3D_gNH_3D_g$ pouvait diminuer le coût des produits chimiques et de la vapeur de 3 à 5 dollars par tonne par rapport à la séquence classique CEDED. Les propriétés mécaniques des pâtes ainsi produites égalaient ou surpassaient celles des pâtes obtenues par les méthodes classiques de blanchiment. Toutefois, il n'existe encore aucune installation commerciale utilisant ce procédé.

7.3.7 Blanchiment en cycle fermé. - Une dernière méthode d'épuration de l'effluent d'usine de blanchiment consiste à utiliser cet effluent comme eau de dilution et de lavage dans le système de récupération. Toutefois, le volume de l'effluent produit doit d'abord être diminué jusqu'à moins de 20 m^3/t pour que l'évaporation de la liqueur noire diluée obtenue soit rentable. Le blanchiment en cycle fermé est étudié de façon plus approfondie au chapitre 14.

TABLEAU 12 ÉMISSIONS ATMOSPHÉRIQUES DES USINES DE BLANCHIMENT*

	kg/t de pâte séchée à l'air	
	Cl_2	ClO_2
Usines de blanchiment total		
Nombre d'usines	6	6
Émissions moyennes	0,5	0,15
Maximales	2,4	0,25
Minimales	0,005	0,0003
Production de dioxyde de chlore		
Nombre d'usines	4	4
Émissions moyennes	0,2	0,12
Maximales	0,75	0,39
Minimales	trace	trace

* Données signalées à Environnement Canada en 1974 et publiées dans le rapport SPE 3-AP-77-6.

7.3.8 Émissions atmosphériques. - Les seules émissions de l'opération de blanchiment qui risquent d'avoir une importance sont le chlore et le dioxyde de chlore provenant des tours de blanchiment, des réservoirs d'étanchéité et des hottes de laveur (tableau 12). Les émissions des opérations qui produisent du dioxyde de chlore peuvent être importantes, spécialement si la tour d'absorption n'a pas les proportions voulues. Cette émission est parfois contrôlée à l'aide d'épurateurs utilisant la soude caustique comme milieu d'épuration. Il existe des données limitées sur les émissions réelles. Dans le reste de l'usine de blanchiment, les volumes des émissions ne sont pas bien documentés mais sont considérés comme faibles, sauf dans des cas particuliers de perturbation.

8 PRÉPARATION DE LA PÂTE

Ce terme englobe les opérations suivantes de fabrication de papier:

- la retrituration et le mélange de différentes pâtes,
- l'addition de différents produits chimiques et charges et
- le traitement mécanique nécessaire pour que les fibres puissent former une feuille de papier.

Les fonctions de soutien comprennent également la surveillance de la consistance, le dosage, le mélange dans le cuvier de la machine et l'épuration.

Dans les papeteries qui achètent leur pâte, en tout ou en partie, les opérations du service de préparation de la pâte constituent la première étape de la production. Dans ces usines, des triturateurs sont installés; ce sont essentiellement des cuves vigoureusement agitées où la pâte sèche ou les déchets de papier sont mélangés avec de l'eau et déchargés lorsqu'ils ont atteint une consistance donnée, qui est ordinairement d'environ 3 p. 100.

8.1 Composition

La composition ou mélange de pâte entrant dans une machine à papier varie fortement selon la qualité du papier à fabriquer. Par exemple, la pâte à papier journal était autrefois toujours constituée par un mélange de 75 à 80 p. 100 de pâte mécanique et de 25 à 20 p. 100 de pâte chimique ne contenant habituellement pas d'additifs chimiques, bien que la tendance actuelle consiste à utiliser jusqu'à 100 p. 100 de pâte mécanique sans ou avec peu de pâte chimique. D'autre part, le papier bond peut être fabriqué à l'aide de pâte au sulfite pure, ou d'une combinaison de pâte au sulfite et de pâte de chiffon, ou de pâte au sulfite et de pâte kraft; il contient habituellement entre 4 et 10 p. 100 de charge et est recouvert d'une couche de colle d'amidon. Le nombre des différents types de papier est si grand et ces papiers diffèrent tellement par leur surface et leur utilisation finale qu'il est impossible de les décrire tous ici. Un grand nombre des papiers de qualité pour publications sont constitués par un mélange de fibres et de charges inorganiques. Les papiers pour sacs et cartons de doublure contiennent habituellement une forte proportion de pâte kraft, proportion qui atteint souvent 100 p. 100. La pâte pour papier mousseline est normalement composée surtout de pâte kraft ou d'un mélange de pâte kraft et de pâte de déchets de papier.

La courte liste ci-dessous a pour but de montrer combien la gamme des qualités de papiers et cartons fabriqués est étendue.

Qualités impression	Qualités industrielles
Billets de banque	Sac, emballage, doublure
Bible	Carbone
Buvard, filtre	À cigarette, pour condensateur
Bond, registre	Papier et carton pour construction
Livre	Emballage d'aliments
Cartons minces	Papier gommé et pour étiquettes
Couverture, papier à dessin	Papier isolant
Papier pour ordinateurs	Carton
Papier pour polycopie	Papier hygiénique
Papier peint	
Papier journal, catalogue	
Papier offset	
Papier photographique	
Papeterie, enveloppes	

La figure 26 montre un système ordinaire de préparation de pâte en continu. Les proportions appropriées des différentes pâtes formant la composition sont d'abord versées dans un cuvier de mélange. Au besoin, des colorants, de la colle, des charges, de l'aluminate de sodium, etc. sont également ajoutés et mélangés intimement à ce point. La composition est ensuite pompée dans le cuvier de la machine où la concentration est soigneusement contrôlée par des régulateurs automatiques de consistance. La pâte est ensuite aspirée par la pompe de mélange qui recycle d'importants volumes d'eau blanche de la fosse sous la toile à la caisse d'arrivée, avec la pâte neuve. Toute fibrillation mécanique des fibres de la pâte est habituellement réalisée dans un raffineur à disques ou un équipement semblable avant que la pâte atteigne la machine à papier, en aval du bac à pâte.

8.2 Raffinage de la pâte

La fibrillation mécanique ou raffinage des fibres de la pâte joue un rôle très important dans la fabrication du papier. Il s'agit de l'utilisation de dispositifs mécaniques qui agissent sur les fibres de façon à augmenter leur surface, leur souplesse et leur surface fibrillée, ce qui augmente considérablement les propriétés de résistance du papier produit et le rend plus uniforme, plus opaque et moins poreux.

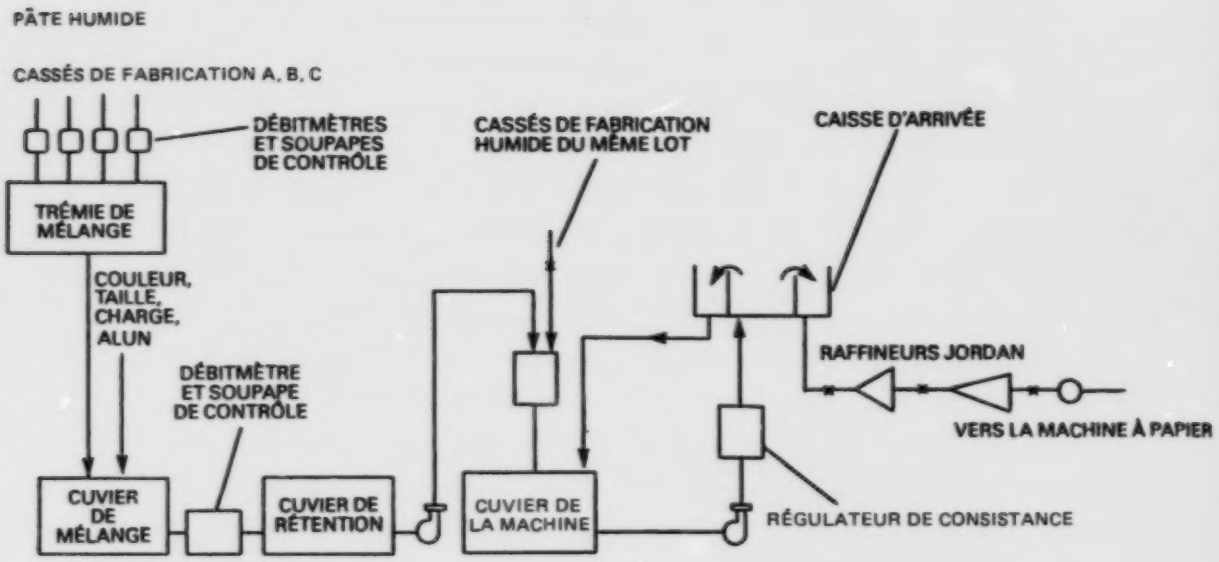

FIGURE 26 Système en continu de préparation de la pâte

Le dispositif classique utilisé pour le traitement mécanique des fibres de la pâte était la pile raffineuse Hollander, qui a beaucoup perdu de sa popularité. Elle consistait en une cuve ovale, un rouleau de pile équipé de barres ou de lames métalliques et une platine stationnaire de pile. Les fibres passaient plusieurs fois entre les lames du rouleau et la platine où elles étaient traitées mécaniquement pour augmenter leur surface et améliorer leurs caractéristiques de liaison.

Les autres dispositifs classiques utilisés pour le traitement mécanique des fibres de la pâte sont notamment le Jordan et le raffineur conique. Ces dispositifs portent le nom de raffineurs en continu et sont employés juste avant que la pâte atteigne la machine à papier. Ils peuvent être utilisés seuls ou en combinaison, selon les propriétés souhaitées du papier à fabriquer. Du fait que ces raffineurs fonctionnent en continu, ils ont remplacé en grande partie la pile, qui est aujourd'hui démodée. Le raffineur à double disque qu'illustre la figure 27 constitue la conception moderne prédominante.

Ces raffineurs à disques sont identiques en principe aux raffineurs utilisés dans la réduction en pâte mécanique, mais ils sont normalement beaucoup plus petits et sont mus par des moteurs de quelques centaines de kW plutôt que par les moteurs de plusieurs milliers de kW comme ceux d'un grand nombre d'usines de pâtes mécaniques.

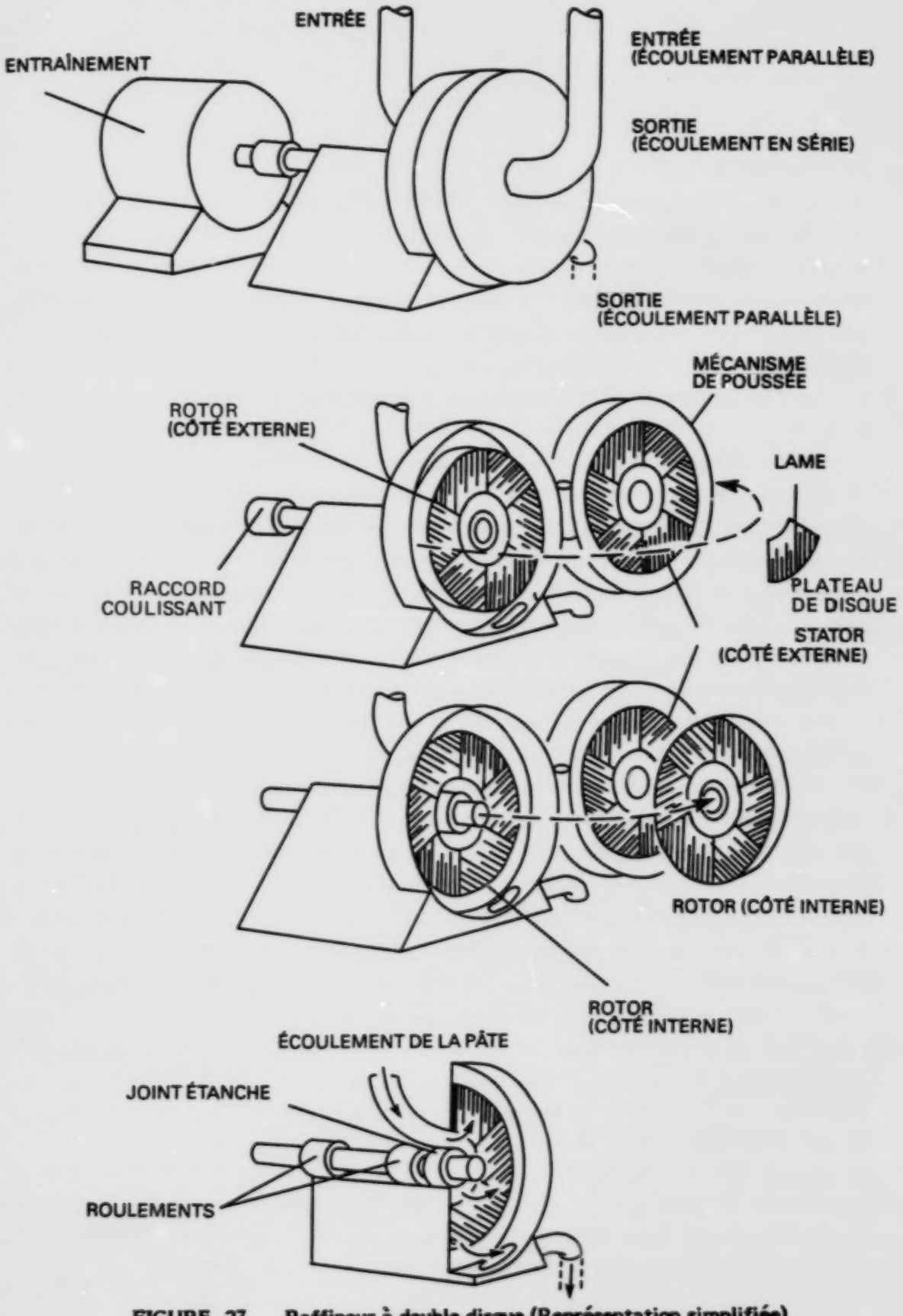

FIGURE 27 Raffineur à double disque (Représentation simplifiée)

8.3 Additifs

Les charges sont habituellement incluses dans la composition pour augmenter l'opacité, la blancheur et la douceur du papier. Ces matières sont habituellement des poudres pulvérisées finement comme l'argile, le talc, la diatomite, le gypse, le carbonate de calcium, le sulfate de calcium, le dioxyde de titane et le sulfate de baryum. Elles peuvent être additionnées à l'état de boue pendant l'opération de mélange. Seule une partie de la charge additionnée est retenue dans la feuille; le reste est recirculé dans le système d'eau blanche. Le déversement dans l'égout de cette eau blanche cause des pertes de la charge et produit un effluent riche en matières solides en suspension.

Le collage de la pâte constitue un traitement complémentaire commun visant à donner au papier des caractéristiques de résistance à l'état humide et à améliorer ses caractéristiques d'impression et la résistance de sa surface aux effets de la rétraction de l'encre d'impression. Cette propriété est connue sous le nom de résistance à l'arrachage. Les matières utilisées sont notamment la colle à la colophane, les cires naturelles, amidons, colles, résines synthétiques et latex. Elles sont habituellement ajoutées à la pâte au stade du mélange ou du raffinage; elles sont ensuite précipitées sur les fibres par addition d'alun effectuée juste avant que la pâte atteigne la machine à papier. Une autre méthode de collage appelée collage en surface consiste à faire passer la feuille partiellement séchée dans une solution de collage.

Des colorants sont souvent ajoutés au produit traité pour obtenir une feuille de la couleur souhaitée. Ces colorants ou pigments sont ajoutés dans le raffineur ou en d'autres points en amont de la machine à papier. Ils sont généralement divisés en deux groupes principaux: 1) les colorants organiques synthétiques et 2) les colorants synthétiques, naturels et inorganiques. Les colorants organiques synthétiques sont les colorants utilisés le plus communément. Ils sont habituellement classés en colorants acides, basiques, directs ou au soufre.

8.4 Tamisage et épuration

La plupart des secteurs de préparation de la pâte comprennent certains équipements d'épuration et de tamisage semblables à ceux qui sont décrits dans la section 6 du présent guide. Dans ce cas, la pâte est acheminée directement à la machine à papier à partir des épurateurs primaires, sans utilisation d'un épaississeur.

8.5 Désencrage

Une petite proportion du papier de rebut récupéré au Canada est utilisée pour la production de papiers mousseline et d'impression qui exige l'élimination de pratiquement toutes les impuretés.

Après la réduction du bois en pâte et l'élimination des plus grosses impuretés, des agents tensio-actifs sont ajoutés à la boue de déchets de papier pour séparer l'encre des fibres en dispersant l'encre en très petites particules qui ont une affinité minime avec les fibres, de sorte que ces deux matières peuvent être séparées soit par lavage, soit par flottation.

La méthode du lavage est la méthode la plus commune en Amérique du Nord. Elle est basée sur le fait que les très petites particules d'encre se comportent plutôt comme des matières solides dissoutes si la pâte est successivement diluée avec de l'eau et réépaissie, à condition que la formation d'un matelas de fibres de la pâte soit évitée lors du passage dans l'équipement d'épaississement. Plusieurs stades de lavage sont utilisés, et exigent l'utilisation d'importantes quantités d'eau. Le filtrat contient l'encre, et des matières éliminées des déchets de papiers et il résiste aux techniques d'épuration primaire classiques à cause des dispersants mentionnés ci-dessus. Une forte addition de coagulants est nécessaire pour éliminer la matière en suspension des eaux usées.

Au stade de la flottation, les particules d'encre sont séparées des fibres de la pâte par introduction d'air dans la boue de pâte; cet air adhère à l'encre et la fait flotter à l'état d'écume qui est ensuite éliminée assez facilement. Ce procédé produit beaucoup moins d'eaux usées que celui consistant à éliminer par lavage l'encre de la pâte, aussi est-il de plus en plus utilisé.

8.6 Effluents

Les rejets de l'épuration et du tamisage constituent une très faible partie de la production totale, moins de 1 p. 100, en général. Il n'est pas possible de définir un taux "acceptable" de déversement de matières solides en suspension parce que ce taux dépend des spécifications du produit et de la propreté de la pâte traitée, qui va de la pâte kraft blanchie de très bonne qualité au papier de rebut fortement contaminé.

Dans la plupart des cas, il est possible de déshydrater les rejets et de les enfouir dans une décharge au lieu de les déverser dans l'égout. Toutefois, si l'usine comporte un clarificateur primaire et un équipement adéquat de manutention de boues, il peut être plus économique de déverser ces rejets dans l'égout et de les récupérer dans le clarificateur. Si leur teneur en cendres est faible, les rejets peuvent être brûlés dans une

chaudière à écorce. Une faible teneur en cendres est toutefois généralement accompagnée d'une forte teneur en fibres, ce qui semble indiquer que la meilleure façon de diminuer le déversement des matières solides en suspension consisterait à améliorer le système d'épuration de sorte qu'il puisse fournir une pâte de qualité acceptable avec un rejet pauvre en fibres.

Les pertes d'eau blanche sont étudiées dans la section "machine à papier".

En l'absence d'un système de tamisage ou d'épuration, le secteur de préparation de la pâte d'une usine exploitée dans des conditions stables ne rejette théoriquement aucun effluent. Le déversement de DBO est généralement négligeable à moins qu'il y ait des fuites importantes d'amidon ou d'autres pertes dues aux défectuosités de l'équipement. La propreté et un entretien approprié constituent les principales mesures de lutte contre la pollution.

8.7 Émissions atmosphériques et déchets solides

Le secteur de la préparation de la pâte ne produit pas d'émissions atmosphériques ou de déchets solides en quantités importantes.

9 MACHINES À PAPIER ET SÉCHEURS DE PÂTE

La machine à papier est le système mécanique utilisé pour transformer en papier la pâte qui est en suspension. Toutes les machines à papier comportent une partie humide ou section de formation, une presse et un sécheur. Les machines à section de formation les plus communément utilisées sont:

- la machine fourdrinier
- la machine à double toile et
- la machine à forme ronde

La machine fourdrinier est le dispositif le plus communément utilisé aujourd'hui et a été adaptée avec succès pour fabriquer une large gamme de papiers et de cartons minces; elle peut également être conçue pour sécher la pâte. Au cours des années 1970, les machines à deux toiles qui améliorent la qualité du papier et parfois la capacité de production de la machine sont devenues de plus en plus communes et sont aujourd'hui largement utilisées. Les machines à forme ronde sont principalement utilisées pour produire des papiers épais, du carton et des papiers non uniformes. Les sections de pressage utilisent des couvertures en feutre pour éliminer davantage l'eau de la feuille continue appelée "bande de papier". Le sécheur utilise des rouleaux chauffés et de l'air chaud pour éliminer l'eau restant dans la bande de feuille jusqu'au degré requis dans le produit final, que ce soit du papier ou de la pâte.

9.1 Machine fourdrinier

Les principaux éléments d'une machine fourdrinier moderne sont illustrés dans la figure 28 qui montre également le tracé de bande de papier ou feuille continue dans la machine.

La pâte en suspension entre dans la caisse d'arrivée avec une consistance d'environ 0,5 p. 100 (selon la qualité de papier à fabriquer) et en sort par une fente, appelée "règle", dont les lèvres sont réglables, puis elle tombe sur la toile en mouvement de machine fourdrinier. La plus grande partie de l'eau passe à travers la toile par gravité et sous l'action des hydrofoils, pontuseaux et caisses aspirantes. L'eau blanche soutirée au voisinage de la caisse d'arrivée, des hydrofoils et des pontuseaux est riche en fibres, matières fines, charges, etc. qui passent à travers la toile et sont recueillies séparément de l'eau blanche moins riche éliminée par les caisses aspirantes et le cylindre aspirant (ou "rouleau coucheur"). L'eau blanche riche s'achemine vers la fosse sous la toile où elle

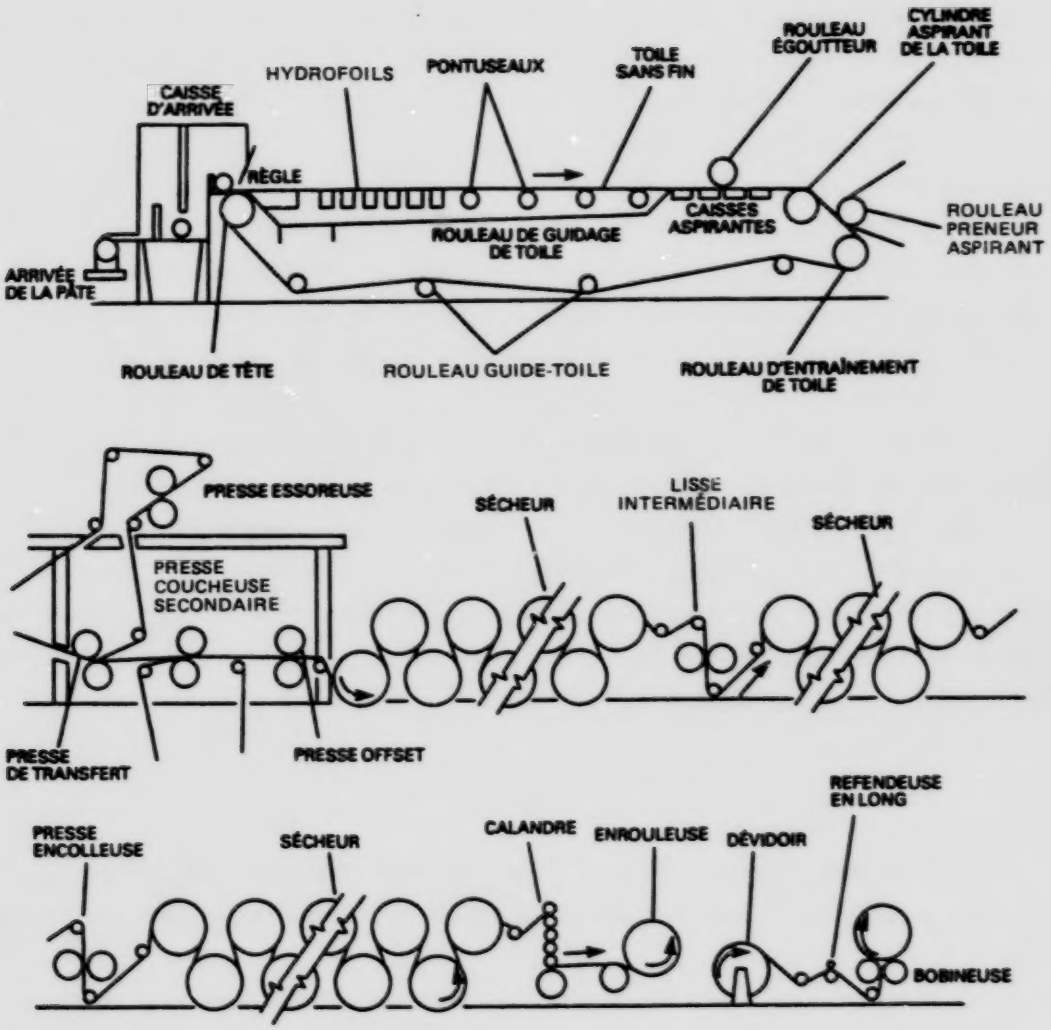

FIGURE 28 **Machine à papier fourdrinier**

est recyclée pour diluer la pâte épaisse provenant du cuvier de la machine. Les eaux blanches moins riches, d'autre part, s'acheminent vers un compartiment différent appelé fosse, placée sous le cylindre aspirant. Elle est utilisée pour diluer la pâte et son surplus coule dans une fosse appelée ramasse-pâte. Les proportions des débits d'eaux blanches pauvre et riche dépendent des besoins de l'équilibre hydraulique de chaque machine à papier.

La toile en plastique tissée a généralement remplacé la toile métallique dans la machine fourdrinier, mais les expressions "toile" ou "toile en plastique" sont universellement utilisées.

Après les caisses aspirantes et le cylindre aspirant de la toile, la bande continue contient une consistance d'environ 15 et 22 p. 100. Elle passe ensuite de la toile à un feutre preneur ou un premier feutre presseur par un rouleau preneur aspirant et entre dans la section de pressage où une élimination additionnelle de l'humidité est réalisée. La bande de papier est ensuite transférée sur le deuxième feutre presseur où de l'eau est encore éliminée en pressant la bande de papier et la couverture de feutre l'une contre l'autre entre les deuxièmes rouleaux presseurs. Certaines machines comportent une troisième presse. Ce dernier élément peut être soit une presse offset à passage direct, comme le montre la figure 28, soit une presse montante. La presse offset lisse la bande de papier humide avant qu'elle n'entre dans la section de séchage pour assurer un bon contact avec la surface du tambour sécheur. La bande de papier atteint une consistance qui se situe entre 30 et 45 p. 100 de matières sèches avant de quitter le sécheur.

La section de séchage comprend normalement une série de rouleaux sécheurs à vapeur sur lesquels le papier est acheminé par un tissu sécheur. Ce tissu sécheur ou feutre maintient également la bande de papier humide contre le tambour pour que le transfert de chaleur soit optimal. Les sections de séchage des machines sont enfermées dans des hottes, et des évents de séchage éliminent l'air chargé d'humidité à mesure que le séchage s'effectue. La figure 28 n'illustre pas les hottes de séchage. Certaines machines sont également équipées d'une calandre intermédiaire située aux deux tiers environ du trajet de la bande de papier dans la section principale. Sa fonction est de compacter et de lisser la bande de papier pendant qu'elle contient encore une assez forte teneur en humidité. La presse encolleuse est illustrée à la figure 28, après la section principale de séchage; des solutions d'encollage comme une solution d'amidon peuvent être ajoutée à la surface de la bande de papier pour donner à ce dernier des propriétés d'impression améliorées et augmenter sa résistance à la pénétration des liquides. La bande de papier est

habituellement tout à fait sèche et contient entre 4 et 12 p. 100 d'humidité avant d'entrer dans la presse encolleuse. Après l'encollage, une autre opération de séchage est requise pour éliminer l'humidité absorbée au cours de l'encollage. Le papier journal n'est normalement pas encollé. Dans la production des papiers fins, la presse encolleuse peut être remplacée par une coucheuse incorporée à la machine selon la qualité du papier à fabriquer.

La bande de papier séché entre dans la lisse où elle est comprimée et dans laquelle sa surface est lissée avant qu'elle soit enroulée. Lorsqu'une bobine est pleine de papier, elle est transférée dans une rebobineuse équipée de couteaux circulaires qui coupent le papier à la largeur souhaitée par le client.

Les vitesses de fonctionnement des machines fourdrinier varient ordinairement entre 10 et 500 m/min pour la production des papiers fins, peuvent atteindre 1100 m/min pour le papier journal et jusqu'à 2000 m/min pour le papier mousseline.

Antérieurement, le couchage du papier constituait en général une opération indépendante parce que la coucheuse fonctionnait à des vitesses beaucoup plus lentes que les machines à papier. De nos jours, la plupart des papiers couchés de qualité moyenne sont enduits sur la machine à papier. Les coucheuses autonomes sont utilisées, spécialement lorsqu'un couchage épais est nécessaire ou lorsqu'on dispose d'autres conditions qui ne permettent pas d'encoller le papier sur la machine sans ralentir son mouvement.

Du papier de qualité inférieure est souvent produit pendant le démarrage de la machine à papier, lorsqu'il se produit une panne ou que le transfert de la bande de papier d'un stade à l'autre a été défectueux. Le papier humide produit pendant ces périodes est appelé cassés humides et cassés de fabrications secs. Ces deux types de papier sont habituellement retriturés et entreposés pour être réutilisés, ou réintégrés immédiatement dans le système de pâte à traiter. La production de cassés est continuelle, parce qu'il faut rogner quelques centimètres de chaque côté de la bande de papier au rouleau coucheur et également à l'extrémité sèche où sa largeur finale est déterminée. La production totale de cassés représente ordinairement entre 10 et 20 p. 100 de la production totale de la machine.

9.2 Machines à papier à deux toiles

Depuis leur introduction au cours des années 1950, l'utilisation des machines à former à deux toiles, en remplacement de la machine fourdrinier classique, a augmenté au

point que la plupart des machines à papier nouvelles utilisées pour fabriquer des papiers minces comme le papier journal et le papier mousseline comportent deux toiles. Un grand nombre des machines à papier journal plus anciennes du Canada ont été converties en machines à deux toiles, au cours de ces dernières années. Il existe environ 30 machines à deux toiles en fonctionnement au Canada au moment où nous rédigeons le présent rapport et leurs fabricants sont divers.

La machine Papriformer conçue au Canada qu'illustre la figure 29, constitue un exemple typique de ces machines. La pâte est acheminée par une buse dont la largeur est égale à celle de la machine (jusqu'à environ 10 m) et elle est dirigée verticalement vers le haut entre deux toiles de type fourdrinier. La déshydratation et le formage initial sont réalisés par action et pression centrifuges entre les deux toiles à mesure qu'elles passent sur deux rouleaux principaux: le rouleau de tête et le rouleau coucheur. La plus grande

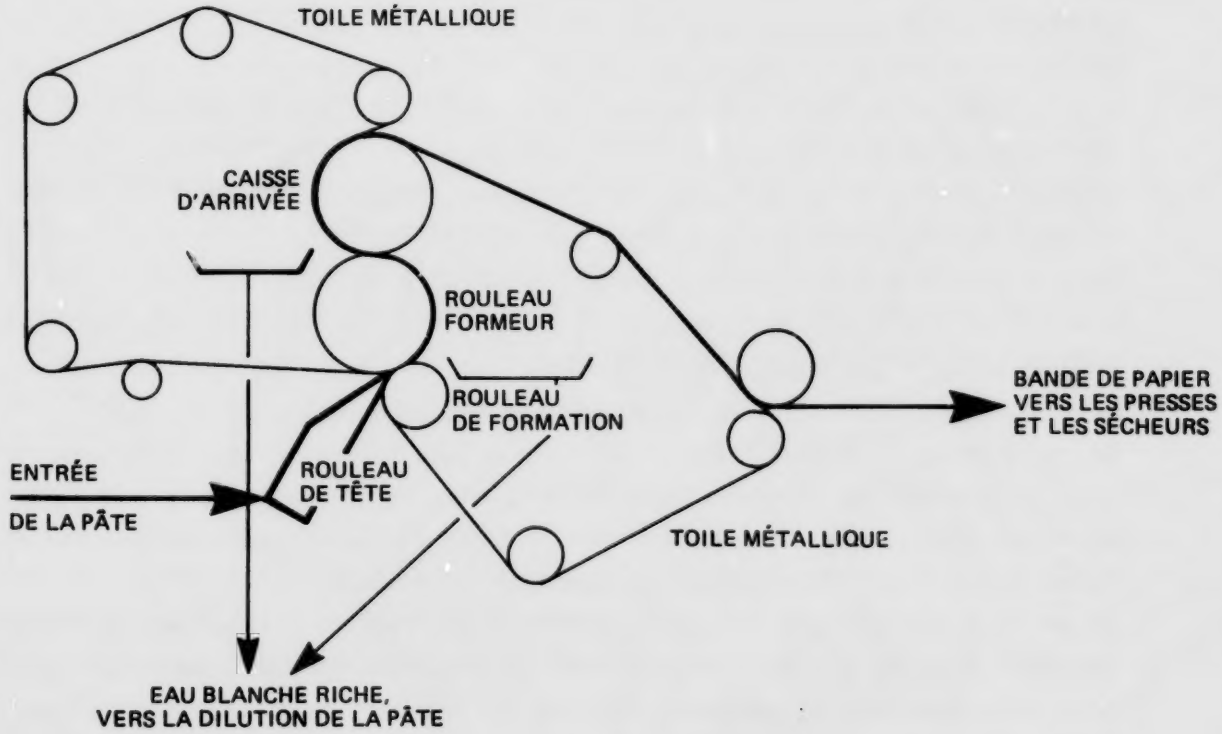

FIGURE 29 Machine à deux toiles (Papriformer)

partie de l'eau blanche est extraite par l'action centrifuge et recueillie pour être réutilisée lors de la dilution de la pâte. Des configurations très variées sont utilisées pour les machines à deux toiles et la pâte peut être orientée initialement dans presque toutes les directions, notamment verticalement vers le bas.

Après le formage, la bande de papier passe dans les presses et les sécheurs décrits précédemment.

9.3 Machines à forme ronde

Les machines à forme ronde sont utilisées principalement pour la production des papiers et cartons épais et peuvent être dotées, selon le produit à fabriquer, d'une ou plusieurs formes rondes pour former la bande de papier.

Dans les machines à une seule forme ronde, la bande de papier est formée par dépôt de la pâte mince sur un rouleau couvert d'une toile à mailles fines pour que l'eau s'égoutte et soit réacheminée dans le système de pâte, puis la bande de papier est transportée sur un feutre qui la soutient jusqu'aux presses et aux sécheurs comme dans la machine fourdrinier.

Dans les machines à plusieurs formes, les bandes de papier sont formées sur plusieurs rouleaux en série et placées les unes au-dessus des autres pour produire un carton très épais qui est ensuite séché comme nous l'avons décrit précédemment. La pâte qui forme les plis extérieurs est en général d'assez bonne qualité pour donner au produit une meilleure apparence ou pour qu'on puisse l'imprimer convenablement. Ces machines fonctionnent à vitesse très lente par rapport à celle d'une machine fourdrinier ou à deux toiles, soit le plus souvent à environ 40 m/min.

9.4 Séchage de la pâte

Autrefois, la pâte était séchée pour être vendue sur des machines très semblables à la machine à papier montrée à la figure 28. Au cours des années 1960, le sécheur par flottation dans l'air, appelé communément sécheur "FLAKT", d'après le nom de son principal fabricant, est devenu commun. Il remplace les sécheurs multiples chauffés à la vapeur par une série de tables où la bande de pâte flotte sur des jets d'air chaud jusqu'à ce qu'elle soit sèche.

Dans les deux types de sécheur ci-dessus, la pâte produite constitue une bande de papier épaisse et continue, semblable à du papier très épais et elle est coupée en feuilles qui sont mises en balles pour être entreposées ou expédiées.

Une autre variante du sécheur de pâte est le sécheur éclair qui remplace toute la section classique de séchage de la pâte. Cette dernière est comprimée jusqu'à une consistance d'environ 40 p. 100 sans être d'abord formée en une bande de papier, puis elle est séchée à l'air chaud, à l'état de fibres en suspension. Les fibres séchées sont introduites dans un évaporateur cyclone, puis pressées en balles.

9.5 Pompes à vide

Les machines fourdrinier et les machines à papier à deux toiles utilisent beaucoup de dispositifs d'aspiration pour déshydrater la bande de papier et le feutre. Le moyen le plus commun utilisé pour appliquer ce vide est la pompe à anneau liquide appelée souvent pompe Nash, d'après le nom du plus important fabricant de ces pompes; elle comporte un rotor circulaire excentré monté dans un logement circulaire et l'eau sert de joint entre les ailettes et le logement du rotor. Ce type de pompe comporte un certain nombre d'avantages par rapport aux autres types de pompe à vide, entre autres il peut pomper de l'air mélangé à de l'eau et à une certaine quantité de fibres. Toutefois, le débit d'eau servant de joint hydraulique est important; il est ordinairement d'environ 10 m^3/t de papier produit. Ce flux ne contient habituellement que peu de fibres et il peut, dans de nombreux cas, être déversé directement dans l'étendue d'eau réceptrice. En certain cas, il est possible que plusieurs centaines de kg/d de fibres soient déversées de cette façon bien que différents moyens, comme des séparateurs montés en série, puissent être installés pour éviter ce problème. Ce flux volumineux peut augmenter de façon importante les coûts de l'épuration mais, dans les usines anciennes, le coût de la séparation de ce débit peut être prohibitif.

L'eau du joint hydraulique des pompes à vide à anneau liquide ne doit pas être confondue avec celle du joint d'étanchéité des paliers de la pompe utilisée dans la plupart des pompes de fabrication. Ce dernier débit est ordinairement de plusieurs litres par minute pour chaque pompe, soit un débit mineur par rapport à celui de l'eau du joint hydraulique de l'anneau de pompe à vide.

9.6 Effluents

La pâte arrive généralement dans le secteur de la machine à papier avec une consistance comprise entre 3 et 12 p. 100. Le produit final est séché à environ 90 p. 100 de sorte qu'environ entre 7 et 30 tonnes d'eau doivent être déversées par tonne de papier produite. De plus, jusqu'à environ 15 tonnes d'eau par tonne de papier sont ajoutées par les rinceurs et les pompes de la machine à papier et le joint hydraulique de l'agitateur doit également être déversé en un certain point.

Environ 1,5 tonne d'eau par tonne de papier est évaporée et une forte proportion de l'eau restante est utilisée pour la dilution de la pâte dans le secteur de la machine à papier ou pour le lavage dans l'usine de blanchiment. Toutefois, il y a habituellement un surplus d'eau blanche qui doit être déversé dans l'égout et qui contient inévitablement des matières solides en suspension comme des fibres fines et, dans certains cas, de charges. Si l'usine comporte un ramassage-pâte moderne à disques intégré au système d'eau blanche, seul le filtrat pur de la colonne barométrique est déversé dans l'égout, sauf au cours des pannes ou lors des modifications de la qualité de la pâte. Dans la plupart des usines, la teneur en matières solides en suspension de ce courant est inférieure à 150 mg/l et le débit de masse des matières solides en suspension est inférieur à 3 kg/t de papier, ou peut être presque inexistant. Si l'usine produit du papier chargé ou du papier couché, ces teneurs peuvent être beaucoup plus fortes. Des modifications fréquentes de la qualité ont également tendance à faire déverser des quantités relativement importantes de matières solides en suspension avec l'eau blanche. Le marché du papier est malheureusement caractérisé par la production de lots relativement petits de papiers chargés, ce qui exige de fréquentes modifications de la qualité de la pâte.

Le volume des effluents de machine à papier peut souvent être diminué de beaucoup en apportant des améliorations aux systèmes de recyclage et le déversement actuel moyen, avant toute épuration externe de l'effluent, est probablement inférieur de plus de moitié à celui de 1970. Dans certaines machines à papier, il est possible de réaliser beaucoup d'autres améliorations, alors que d'autres ont déjà des débits très faibles.

Dans certaines usines, l'installation d'un ramassage-pâte moderne à disques ne peut être justifiée par les économies de fibres, dans ce cas, le débit d'eau blanche déversé est semblable, mais sa teneur en matières sèches est plus forte; elle peut faire décharger jusqu'à 30 kg de fibres par tonne de papier. Dans certains cas, un ramassage-pâte est installé principalement pour améliorer la qualité de l'effluent.

Toutes les machines à papier comportent un secteur associé de préparation de la pâte qui produit d'autres effluents, comme le décrivent les chapitres 6 et 8 du présent rapport.

Les sources de DBO des effluents de papeteries sont les matières organiques dissoutes du bois et les matières de couchage. Les quantités de matières organiques dissoutes du bois ont été étudiées au chapitre 5. Généralement, aucune de ces matières n'atteint la machine à papier dans le cas des pâtes chimiques blanchies, mais une grande quantité de matières organiques perdues apparaissent dans l'égout de la machine à papier dans le cas des autres pâtes.

Les matières de couchage et de charge sont notamment les amidons, latex et d'autres matières organiques. Certaines d'entre elles fuient dans l'égout et environ 20 p. 100 du total des matières organiques utilisées dans l'usine sont introduits dans l'eau blanche par le système des cassés. Une grande partie de ces matières est déversée dans l'égout; les quantités varient beaucoup, mais une quantité de 10 kg DBO/t de papier n'est pas inhabituelle.

La toxicité des additifs chimiques mérite d'être mentionnée. En général, la concentration chimique des additifs utilisés dans un système de pâte est suffisamment faible pour n'avoir aucune répercussion toxique. Toutefois, à de fortes concentrations, certains d'entre eux peuvent être très toxiques. L'utilisation de certains produits chimiques très toxiques comme les composés du mercure pour contrôler la croissance bactérienne dans l'eau blanche de la machine à papier a été interdite au Canada.

9.7 Émissions atmosphériques

Il n'existe pas dans ce secteur d'émissions atmosphériques ayant une grande importance environnementale. L'émission la plus notable du secteur de la machine à papier est de loin l'air rejeté par le sécheur. Elle consiste en vapeur d'eau et en air. Bien que normalement environnementalement de peu d'importance, elle est souvent mal vue du public à cause de son aspect spectaculaire.

9.8 Déchets solides

À moins que les rejets de l'épuration soient déshydratés et doivent être mis au rebut, aucun déchet solide n'est produit par le secteur de la machine à papier.

10 FINISSAGE ET CONVERSION

Les opérations de finissage sont celles effectuées dans l'atelier de finissage, et qui servent à préparer le papier en vue de son expédition. Elles comportent notamment:

- le supercalandrage dans certains cas, pour améliorer l'état de surface;
- la coupe secondaire et le rebobinage pour produire des rouleaux répondant aux exigences de la clientèle;
- la coupe du papier en feuilles si le produit final doit être sous forme de feuilles et non de rouleau;
- le couchage extérieur à la machine;
- l'emballage.

La plupart de ces opérations produisent peu de déchets liquides, sauf le couchage. Il est parfois nécessaire de déverser dans l'égout le surplus du bain de couchage et les bains de couchage de mauvaise qualité, et de vidanger périodiquement le système.

Les opérations de finissage peuvent produire une quantité de cassés de fabrication secs représentant jusqu'à environ 10 p. 100 de la production totale et qui sont remis en pâte et recyclés dans le secteur de préparation de la pâte.

11 RÉCUPÉRATION CHIMIQUE

La liqueur épuisée de réduction du bois en pâte qui est extrait au cours de l'étape de lavage de la pâte contient pratiquement tous les produits chimiques de cuisson originaux et les matières organiques provenant du bois.

La quantité totale des matières dissoutes dépend du rendement des opérations de défibrage et elle varie généralement entre 1500 à 1900 kg/t pour la pâte kraft, et elle peut aller de 500 à 2500 kg/t pour la pâte au sulfite et mi-chimique. La récupération chimique est essentielle du point de vue économique pour le procédé kraft, mais elle reste avant tout une mesure de protection du milieu dans la plupart des usines de traitement au sulfite.

Au Canada, toutes les usines de kraft récupèrent leurs produits chimiques et certaines usines de traitement au sulfite le font également.

11.1 Récupération chimique pour la pâte kraft

11.1.1 Description du processus. - La figure 12 illustre le cycle fondamental du processus de récupération de la pâte kraft selon lequel les produits de cuisson sont régénérés et où les résidus organiques incinérés servent à produire l'énergie nécessaire au traitement et de l'électricité. Ces opérations sont décrites brièvement ci-dessous:

- La liqueur noire faible soutirée de la pâte par les laveurs de pâte écrue est concentrée dans une série d'évaporateurs à effets multiples, jusqu'à ce qu'elle soit composée d'environ 50 p. 100 de solides. Au Canada, on utilise habituellement les évaporateurs à convection naturelle.
- La liqueur est ensuite concentrée jusqu'à environ 65 p. 100 de matières solides, soit par contact direct avec le gaz de circulation de la chaudière de récupération ou indirectement, dans un évaporateur chauffé à la vapeur et à circulation forcée, généralement appelé concentrateur.
- La liqueur noire concentrée est alors incinérée dans une chaudière de récupération. La matière organique brûle en fournissant la chaleur nécessaire à la production de vapeur, tandis que les sels soufrés de sodium s'accumulent au centre de la chaudière sous forme de salin en fusion. À hautes températures et avec des conditions contrôlées, le Na_2SO_4 ajouté à la liqueur noire pour compenser les pertes en sodium et en soufre est réduit en Na_2S de la façon suivante:

$$Na_2SO_4 + 2C \xrightarrow[840\ ^oC]{} Na_2S + 2CO_2$$

- Le salin en fusion composé principalement de Na_2S, Na_2CO_3 et d'un peu de Na_2SO_4 non transformé s'écoule de la chaudière sous l'effet de la gravitation et se mélange avec la liqueur diluée, filtrat du lavage à la chaux, dans les bacs de dissolution. La couleur verte des sels en fusion se communique au mélange aqueux appelé, pour cette raison, liqueur verte.
- La liqueur verte est pompée vers un clarificateur où les cendres résiduaires carbonées et autres impuretés sont évacuées par sédimentation. Le résidu solide connu sous le nom de lie de liqueur verte ou simplement de lie est lavé pour en retirer les sels de sodium solubles. Les sels dissous sont renvoyés dans le système tandis que la lie est dirigée sur des décharges ou rejetée à l'égout. Une tonne de pâte donne habituellement environ 0,5 kg de lie.
- La liqueur verte clarifiée est ensuite pompée dans l'atelier de caustification où de la chaux hydratée est versée dans le bac extincteur pour transformer le carbonate de sodium en hydroxyde de sodium, selon la réaction ci-dessous:

  $$Ca(OH)_2 + Na_2CO_3 \longrightarrow 2NaOH + CaCO_3$$

  Cette réaction, assez lente, commence dans l'extincteur, pour se terminer dans les cuves de caustification qui sont des réservoirs de rétention agités, placés juste en aval. Le carbonate de calcium formé par la réaction n'est absolument pas soluble et il est extrait par filtration de la solution dans le clarificateur de lessive blanche. La solution clarifiée obtenue contient les deux principales substances de cuisson actives: le Na_2S et le NaOH. Cette liqueur se nomme lessive blanche et elle est prête à être réutilisée dans le lessiveur.
- Le carbonate de calcium extrait du clarificateur de lessive blanche est pompé dans un laveur puis un filtreur de boues où il sera épaissi et lavé pour récupérer les sels de sodium. Le $CaCO_3$ épaissi est ensuite calciné dans un four à chaux à flamme directe, qui le transforme en oxyde de calcium de la façon suivante:

  $$CaCO_3 + \text{CHALEUR} \longrightarrow CaO + CO_2$$

- Le CaO ainsi obtenu est récupéré et utilisé dans le réacteur.

Un diagramme de circulation d'un ancien système type de récupération utilisé au Canada pour le kraft est présenté à la figure 30 avec les principaux points d'émission. Les quantités recueillies habituellement à l'aide du processus de récupération figurent au tableau 13.

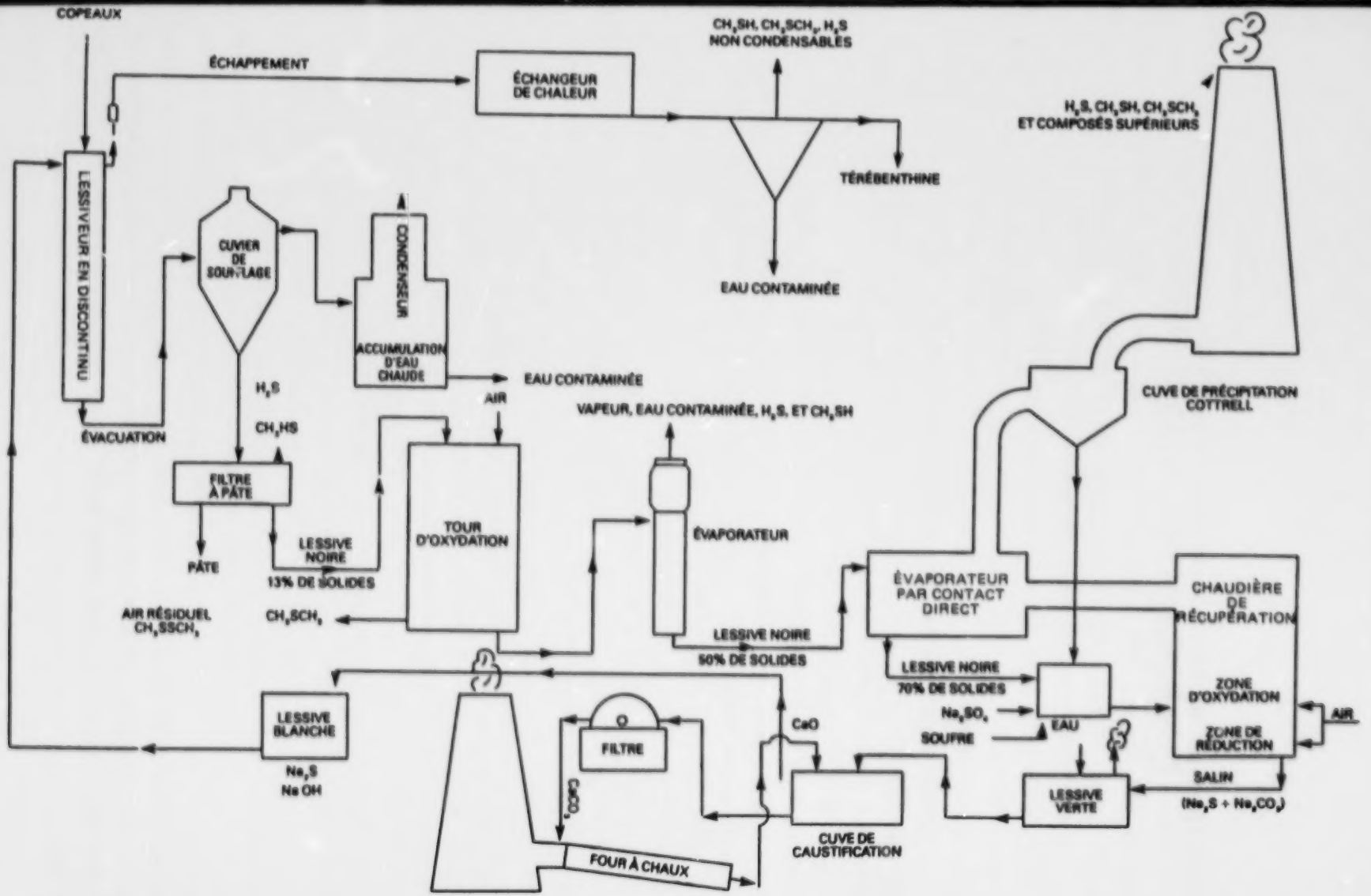

FIGURE 30 Schéma simplifié du processus de réduction de bois en pâte kraft

TABLEAU 13 MASSIQUES ET FLUX ÉNERGÉTIQUES TYPES D'UNE USINE PRODUISANT 750 t/d DE PÂTE KRAFT CHIMIQUE BLANCHIE, SÉCHÉE À L'AIR

	Débit de vapeur (t/h)	Débit d'eau (l/min)	Débit de matières solides (kg/h)	Apport en DBO (kg/h)
Bois dans le lessiveur	-	1100	58500	-
Lessive dans le lessiveur	-	2450	9800	1960
Débit de l'eau de lavage de la pâte	-	5150	0	0
Vapeur vers le lessiveur	57	-	-	-
Liqueur noire diluée dirigée vers les évaporateurs	-	4950	58250	8700
Vapeur dirigée vers les évaporateurs	71	-	-	-
Condensat des évaporateurs	-	4400	-	400
Liqueur noire concentrée vers la chaudière	-	550	59000	8300
Vapeur produite	138	-	-	-
Appoint en sulfate de sodium	-	0	700	0
Lie de liqueur verte	-	7	20	3
Alimentation en chaux de l'extincteur	-	0	7000	0
Rejets de l'extincteur	-	3	50	0
Débit des boues résiduaires de chaux vers l'épaississeur	-	280	11200	200

Nota: Les substances chimiques inorganiques comme la lessive blanche créent une DBO en raison de l'oxydation chimique du sulfure de sodium dans les conditions d'essais de DBO.

Les seuls déchets solides sont des rejets de l'extincteur composés de chaux et de matières minérales inertes et la lie verte composée de carbone, de cendres et d'une certaine quantité de sels de sodium.

Le principal rejet de composés organiques est formé par le condensat de l'évaporateur, bien qu'une bonne partie du débit total doive être recyclée dans les laveurs de pâte.

Il faut prendre note de la quantité totale de matières organiques allant des laveurs de pâte à la chaudière de récupération, étant donné qu'il équivaut à environ 300 kg DBO par tonne de pâte. Dans certains circuits internes de recyclage, la quantité de matières organiques peut être jusqu'à dix fois supérieur; c'est pourquoi il est clair que même un très faible pourcentage de perte sur ce volume, qui passe par un ensemble très complexe d'appareils, peut représenter une charge substantielle en DBO pour l'usine d'épuration ou le milieu récepteur.

11.1.2 **Évaporateurs.** - La liqueur noire faible parvient à l'atelier de récupération avec un taux de matières solides concentrées de 14 à 18 p. 100. Ce taux doit être substantiellement élevé par évaporation avant que la liqueur puisse alimenter la chaudière de récupération. Des échangeurs de chaleur verticaux à enveloppe et à tube appelés évaporateurs à calandre sont généralement utilisés au Canada pour le processus d'évaporation. La liqueur diluée est portée à ébullition dans les tubes par la vapeur envoyée dans l'enveloppe. Une culasse à vapeur est installée à l'extrémité supérieure de façon à ce que la vapeur se sépare de la liqueur avec un minimum d'entraînement. Il y a habituellement de 5 à 7 stades consécutifs et la vapeur récupérée au cours d'un stade sert à alimenter le suivant. Le corps et les surfaces d'échange de chaleur sont conçus de manière à ce que la pression tombe progressivement d'environ 200 kPa, soit la pression d'alimentation type de la vapeur vive, à 90 kPa de pression négative. La liqueur noire circule généralement à contre-courant de la vapeur, mais il existe diverses méthodes.

La vapeur dégagée au cours d'une étape est condensée au cours de la suivante et la vapeur de la dernière étape se condense soit dans un grand échangeur de chaleur connu sous le nom de condenseur de surface ou par contact direct avec l'eau d'un condenseur barométrique. Le condenseur de surface nécessite un petit système d'aspiration pour supprimer les gaz non condensables. Ces gaz comprennent le méthanol, les terpènes et autres substances organiques, l'air et un groupe de composés sulfureux nauséabonds connus généralement sous le nom de soufre total réduit (STR).

Les composés organiques volatils, notamment le méthanol, se condensent dans les enveloppes du condenseur de surface et dans les évaporateurs et ils constituent, s'ils sont jetés à l'égout, une source importante de DBO. La DBO varie et est à toutes fins pratiques de l'ordre de 8 à 15 kg/t. Chaque corps produit un faible courant de condensat, mais la distribution de DBO est très inégale et, dans les usines de construction modernes, on sépare généralement les courants de condensat pour en faciliter la réutilisation. Tout le condensat se réchauffe donc et les courants épurés peuvent être réutilisés pour la recaustification et le lavage de la pâte.

Les condensats sont également contaminés par la liqueur noire entraînée dans la culasse à vapeur des évaporateurs. Évidemment, l'objectif consiste à réduire au minimum l'entraînement de liqueur qui, dans les systèmes bien conçus et de taille appropriée, est habituellement négligeable. Cependant, il n'est pas facile de faire fonctionner les évaporateurs à étages multiples; cet entraînement est un problème fréquent et sa contribution à l'effluent peut représenter plusieurs kilos de DBO par tonne de pâte.

Un diagramme d'évaporateur type et de récupération de savon est présenté à la figure 31. Les gaz évacués par les évaporateurs et la séparation des condensats produisent des émissions importantes de STR. La section 14 traite des taux d'émission et des mesures de contrôle.

11.1.3 Récupération du savon. - Depuis longtemps, l'écumage de savon fait partie du processus kraft, mais cette opération a pris plus d'importance au cours des dernières années. Cela s'explique surtout par le fait que les acides résiniques contenus dans les savons sont l'un des éléments toxiques majeurs des effluents lors de la réduction en pâte et qu'ils ont des effets nocifs sur les systèmes d'épuration biologiques. L'écume des savons se compose en grande partie des acides résiniques et des acides gras présents dans le bois à l'état naturel qui, au moment de la réduction en pâte, se saponifient sous l'action de la liqueur alcaline et se transforment en sels sodés. Dans la liqueur de cuisson résiduelle faible, ces sels restent solubles, mais au cours de l'évaporation leur solubilité diminue au point qu'ils commencent à se cristalliser. Ce phénomène se produit généralement lorsque la concentration des matières solides de la liqueur noire atteint de 25 à 35 p. 100. Cette matière appelée savon est habituellement enlevée à la surface de la liqueur par une spatule rotative, dans un bassin approprié. À la figure 31, la liqueur quittant les cinquième et sixième évaporateurs est envoyée au bassin d'écumage. Dans certaines usines, ce bassin se situe entre la quatrième et la cinquième étape.

Un temps de séjour adéquat dans le réservoir (1,5 à 2,5 heures) permet au savon de flotter à la surface. Le savon recueilli est généralement entreposé dans un réservoir approprié; après quoi il en est extrait pour être vendu ou, si l'usine possède des installations pour l'huile résiduaire, il y sera expédié pour être traité. Sinon, il est brûlé dans la chaudière de récupération qui le détruit et récupère par la même occasion la chaleur et les agents chimiques. D'autres petites quantités de savon sont également recueillies dans le bassin de réserve de la liqueur noire faible ainsi que dans celui de la liqueur noire concentrée. La récupération de savon n'étant pas très efficace aux faibles concentrations de liqueur, certains acides résiniques restent dans la liqueur noire.

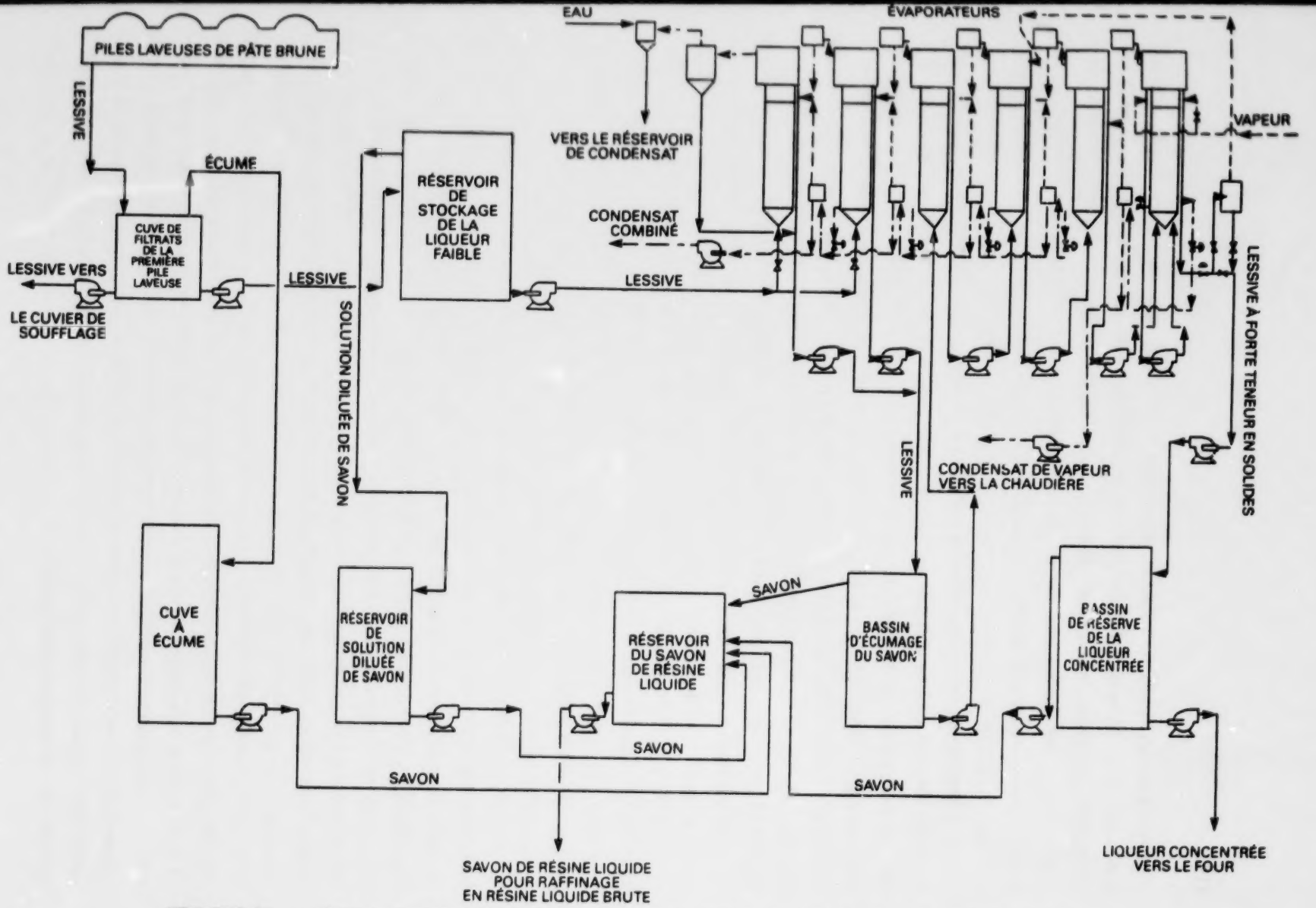

FIGURE 31 **Diagramme de l'évaporation de la liqueur noire et de la récupération des savons**

Lorsqu'il n'existe aucune installation d'écumage, les couches de savon qui ont tendance à se former à la surface des bassins de réserve de la liqueur noire forte s'écoulent partiellement vers les égouts. Certaines usines dont la liqueur contient une faible teneur en savon peuvent en contrôler efficacement les pertes simplement en pompant cette couche de temps à autre et en l'incinérant.

11.1.4 Oxydation de la liqueur noire. - Lorsque le sulfure de sodium de la liqueur noire entre en contact avec le dioxyde de carbone contenu dans les gaz de queue de la chaudière de récupération dans l'évaporateur par contact direct, certaines quantités de sulfure d'hydrogène peuvent être produites, extraites de la liqueur et rejetées dans l'atmosphère. Cette génération de H_2S peut être éliminée en grande partie par l'oxydation à l'air (ou dans de rares cas, à l'oxygène) du sulfure de sodium qui se transforme en thiosulfate de sodium. Cette oxydation peut être effectuée avant ou après l'arrivée aux évaporateurs à étages multiples ou aux deux endroits. Au Canada, un certain nombre d'usines possèdent un système d'oxydation à air.

L'oxydation peut être effectuée dans des tours garnies, des tours à plaques ou des réservoirs à ajutages. L'écume entraîne souvent des problèmes, surtout dans la liqueur provenant de résineux et, en général, ils sont plus graves dans les systèmes d'oxydation de la liqueur noire faible. Pour atténuer ce problème, on a conçu des systèmes avec des réservoirs à écume et des dispositifs anti-mousse.

L'oxydation de la liqueur noire faible réduit la corrosion des évaporateurs, les émissions de STR et la formation d'écume dans l'évaporateur; cela a pour effet de diminuer également la quantité de liqueur entraînée dans l'évaporateur. Cela peut représenter un facteur important en rendant le condensat moins toxique pour le poisson. En raison de la durée de séjour dans les évaporateurs et les bassins de stockage, un retour des composés de soufre oxydés est possible. C'est pourquoi l'oxydation de la liqueur noire concentrée s'avère souvent nécessaire pour obtenir un degré satisfaisant de sulfure de sodium résiduaire dans la liqueur noire qui pénètre dans l'évaporateur par contact direct. Il a été démontré que des résidus de sulfure de sodium de 0,1 g/l ou moins éliminent en grande partie la formation de H_2S dans l'évaporateur. Les résidus de sulfure de sodium de 0,2 g/l à 0,4 g/l peuvent s'avérer efficaces si le pH de la liqueur noire est supérieur à 12.

La quantité de STR rejetée par les systèmes d'oxydation de la liqueur noire dépend de la séquence de traitement, mais sous l'effet d'éléments défavorables elle peut atteindre jusqu'à 0,2 kg/t de pâte. On pratique parfois l'incinération en utilisant les gaz de queue comme air de combustion.

11.1.5 Évaporateurs à contact direct. - La majeure partie des systèmes avec chaudières de récupération installés avant 1973 utilisent l'évaporateur à contact direct pour faire passer le degré de concentration de la liqueur noire provenant des évaporateurs à effets multiples de 50 à 65 p. 100. Le principe est celui du contact direct des gaz de queue chauds de la chaudière de récupération avec la liqueur noire, soit dans un cyclone ou un évaporateur en cascade où une cage d'acier tournant lentement est partiellement immergée dans un bain de liqueur et partiellement dans le courant de gaz chauffés.

Les vapeurs dégagées sont rejetées dans l'atmosphère avec les gaz de combustion. Parfois l'émission est chargée presque entièrement de vapeurs denses, de dioxyde de carbone et d'azote. Toutefois, si la liqueur noire n'est pas bien oxydée, jusqu'à plusieurs centaines de partie par millions (ppm) de sulfure d'hydrogène et de faibles quantités d'autres gaz sulfureux se dégageront dans l'évaporateur par contact direct, par suite de la réaction entre le dioxyde de carbone des gaz de queue et le sulfure de sodium de la liqueur noire non oxydée. Ces substances constituent l'une des principales émissions de STR de certaines usines.

Si la chaudière de récupération est du type qui dégage peu d'odeur, comme celle décrite ci-dessous, l'oxydation de la liqueur noire n'a rien à voir avec les émissions de STR.

11.1.6 Chaudières de récupération. - Ces appareils constituent le centre du système de récupération. La liqueur noire ayant une concentration de matières solides de 60 à 70 p. 100 est généralement mélangée avec des substances chimiques d'appoint comme le sulfate de sodium et, à l'occasion, l'acide épuisé générateur de ClO_2, puis pulvérisée dans la chaudière de récupération pour y être brûlée. La figure 32 est un schéma montrant les trois principales zones de fonctionnement de la chaudière. Les gouttelettes de liqueur noire sèchent à mesure qu'elles tombent sur le lit de salin en traversant les zones de séchage et de réduction. Le flux d'air primaire doit être ramené à un degré propre à maintenir une atmosphère réductrice dans le niveau inférieur de la chaudière. Le flux d'air primaire constitue le moyen de contrôler la température voulue du lit de salin. Si elle est trop basse, une quantité insuffisante de composés de sodium se volatilisera dans la zone de réduction pour se mélanger avec les composés sulfureux présents, avec le résultat que les émissions de composés sulfureux de la chaudière seront plus fortes. Si la température du lit est trop élevée, des quantités excessives de composés de sodium se dégageront de la chaudière sous forme de matières particulaires. À mesure que les gaz de combustion

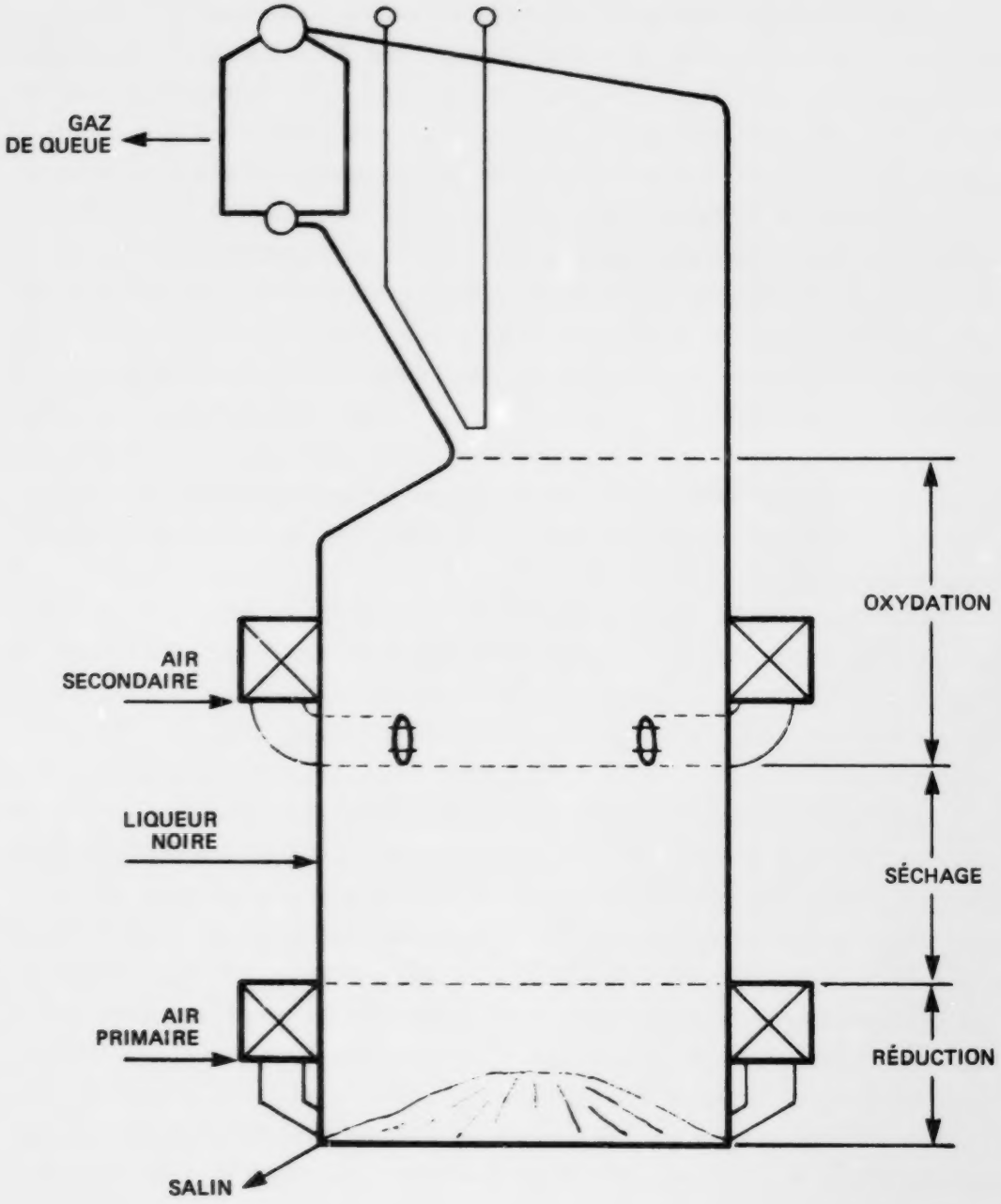

FIGURE 32 Zones de la chaudière de récupération chimique

franchissent la zone d'oxydation, les matières organiques s'oxydent principalement en CO_2 et en H_2O, ce qui complète le processus. De nombreuses chaudières comportent en plus une alimentation en air supplémentaire appelée air tertiaire.

Le fonctionnement et la conception de la chaudière jouent un rôle très important dans la régularisation des émissions. Des conditions appropriées de turbulence, de température du lit et de distribution d'air permettront à pratiquement tout le soufre de se combiner avec le sodium et de rester avec le salin, surtout sous forme de sulfure de sodium. Habituellement, il est essentiel de maintenir à la sortie de la chaudière une concentration d'oxygène d'au moins 2 p. 100 dans les gaz de queue si l'on veut garder un minimum d'émissions de STR. Si l'excédent d'oxygène est trop élevé, la formation de trioxyde de soufre peut entraîner des problèmes en faisant adhérer les particules de matières aux tubes de la chaudière. Bon nombre d'anciennes chaudières ne répondant plus aux normes actuelles par leurs dimensions ne parviennent pas à conserver la présence d'oxygène dans les gaz de queue.

Certaines variables du fonctionnement, en apparence aussi minimes que la grosseur des gouttelettes de liqueur noire pulvérisées dans la chaudière, jouent un rôle décisif dans le contrôle des émissions. D'importantes variations dans l'alimentation de la chaudière en liqueur noire risquent de perturber le mélange et la vitesse des gaz, de sorte que des quantités excessives de composés sulfureux s'échapperont en même temps que les gaz de queue. Il convient de faire remarquer que la production de STR dans l'évaporateur à contact direct se fait en grande partie indépendamment des opérations de la chaudière de récupération.

La chaudière de récupération est une des principales sources d'émissions de particules provenant de l'usine de pâte kraft. Les matières particulaires se composent en majorité de sulfate de sodium et de carbonate de sodium, mais dans la région côtière où le bois est transporté et stocké dans l'eau salée, elles peuvent contenir aussi d'importantes quantités de chlorure de sodium. La récupération au moyen d'épurateurs électrostatiques et de laveurs de gaz de 85 à 95 p. 100 des émissions particulaires est généralement effectuée pour des raisons d'ordre économique. Ces résultats viennent s'ajouter à ceux obtenus avec les évaporateurs à contact direct, soit une efficacité de récupération des émissions particulaires de 5 à 15 kg/t de pâte. En raison de la réglementation plus rigoureuse et de l'abandon des évaporateurs à contact direct, les nouvelles installations de précipitations sont généralement conçues de manière à supprimer les émissions particulaires dans une proportion de 99 p. 100.

L'expression "chaudière à faible odeur" s'applique aux appareils qui n'ont pas d'évaporateur à contact direct (voir la figure 33). Ces installations nécessitent des épurateurs électrostatiques plus grands, plus efficaces qui contrôlent aussi bien les émissions. Dans la pratique, les épurateurs électrostatiques ne sont pas conformes aux valeurs d'émissions prévues. À l'usage, l'efficacité tend à baisser rapidement alors que les exigences d'entretien sont onéreuses. Toutefois, des émissions particulaires inférieures à 1,5 kg/t ont été signalées.

Il a été estimé que les émissions de STR de la cheminée d'une chaudière de récupération à faible odeur varie de 1 ppm à plusieurs centaines par millions en cas de surcharge, ou dans de mauvaises conditions. Il semble que les émissions de STR d'une chaudière de récupération fonctionnant dans de bonnes conditions avec un évaporateur à contact direct et une liqueur noire bien oxydée ne dépassent pas 2 à 3 ppm. Cependant, des erreurs importantes d'échantillonnage et de mesure sont possibles quand il faut mesurer d'aussi faibles concentrations de STR, et une grande partie des anciennes données de la documentation sous-estiment nettement les valeurs réelles.

Les installations de récupération modernes, qu'elles soient munies d'évaporateurs à contact direct utilisant la liqueur noire bien oxydée ou de chaudières à faible odeur, produisent des émissions de STR inférieures à 20 parties par million lorsque les opérations sont effectuées dans de bonnes conditions. Les émissions de STR provenant des chaudières de récupération fonctionnant mal ou surchargées peuvent dépasser 1000 ppm. Les chaudières installées depuis 10 à 15 ans peuvent avoir de la difficulté à atteindre des valeurs d'émission inférieures à 100 ppm en raison des limitations de l'installation et des appareils, même si elles possèdent de bons systèmes d'oxydation de la liqueur noire. Malgré la réglementation, quelques chaudières de récupération ayant des émissions de STR de 100 ppm sont une source d'odeurs au niveau du sol.

Les émissions de dioxyde de soufre peuvent varier de quelques parties par million à plusieurs centaines de parties par million, selon les conditions de fonctionnement et le type de chaudière. L'évaporateur à contact direct de la chaudière classique élimine la plus grande partie du dioxyde de soufre des gaz de queue. Par conséquent, la chaudière à faible odeur produira normalement des émissions plus importantes de dioxyde de soufre que la chaudière classique. Normalement, les émissions ne sont pas assez abondantes pour avoir une incidence environnementale et elles correspondent à celles de la combustion de pétrole très pauvre en soufre.

Des laveurs sont parfois utilisés pour contrôler les émissions particulaires soit séparément ou en série avec des épurateurs électrostatiques et peuvent enlever plus de

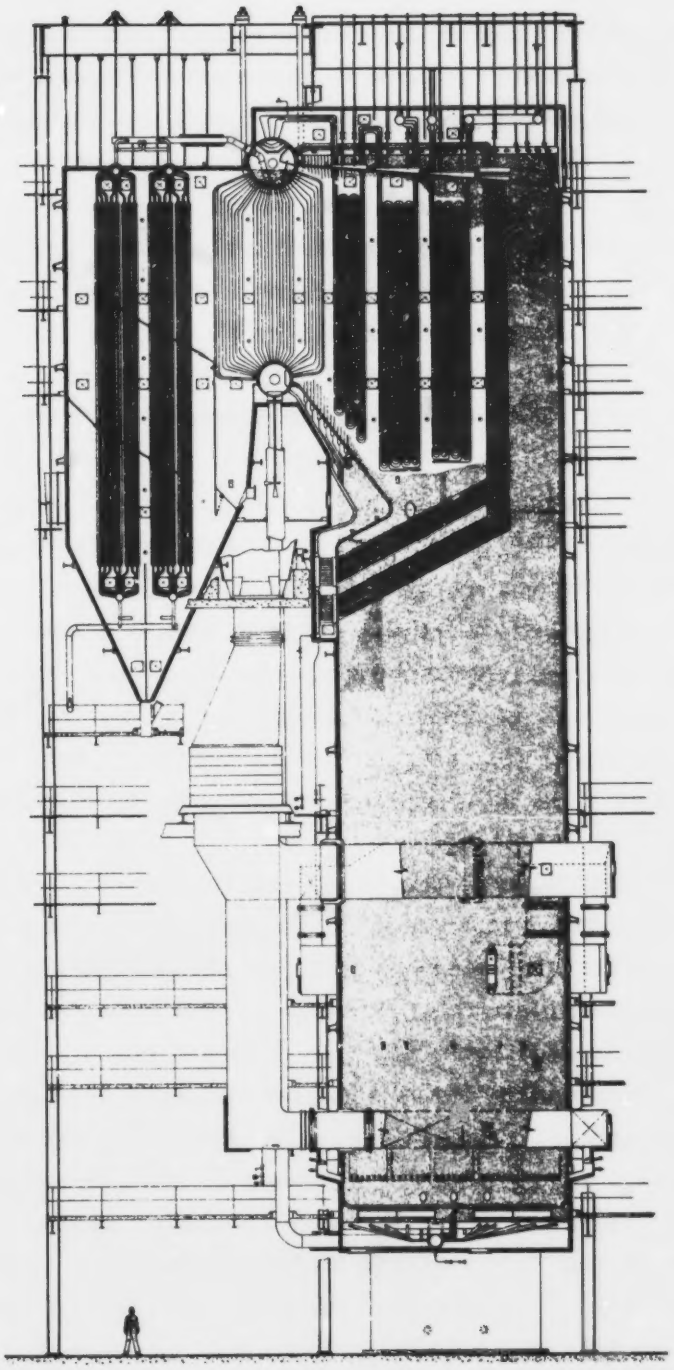

FIGURE 33 Chaudière de récupération à faible odeur (Combustion Engineering Canada)

90 p. 100 de matières particulaires. Ils sont en général plus fiables que les épurateurs électrostatiques mais produisent un panache humide extrêmement visible. Dans certaines régions où les conditions météorologiques sont mauvaises, les panaches humides des installations munies de laveurs risquent de provoquer de graves problèmes de visibilité ou de provoquer une réaction défavorable du grand public.

Les opérations à l'échelle commerciale ont démontré qu'il est possible avec un système utilisant un milieu d'épuration alcalin au charbon activé, mis au point par l'Institut de recherche des pâtes et papiers du Canada, de contrôler les émissions particulaires et celles de STR provenant d'un grand nombre de chaudières de récupération. Plusieurs installations munies de ce système sont exploitées aux États-Unis et au Canada.

11.1.7 Réservoirs de dissolution du salin. - Le salin en fusion qui s'écoule du lit à la chaudière de récupération se compose principalement de carbonate de sodium et de sulfure de sodium. Ce salin arrive dans le réservoir de dissolution en passant par des gicleurs de vapeur. De grandes quantités de vapeur s'échappent lorsque le salin entre en contact avec l'eau et que des matières particulaires sont entraînées hors de la cheminée par la vapeur. Des laveurs à garnissage ou des tamis à mailles avec des rinceurs doivent être utilisés pour contrôler ces particules. Il faut que les dispositifs de contrôle soient conçus avec soin pour éviter qu'ils se bouchent. Les émissions particulaires peuvent être contrôlées jusqu'à 0,1 kg/t de pâte.

Les émissions de STR, qui sont généralement mineures, peuvent provenir du salin et de la liqueur diluée dans le réservoir à salin même ou de l'eau de rinçage utilisée dans le matériel de contrôle. Des niveaux d'émissions d'environ 0,01 kg/t de pâte ont été signalés. Le contrôle des émissions de STR n'est pas une pratique courante.

11.1.8 Extincteurs et caustificateurs. - On caustifie la liqueur verte du réservoir de dissolution en mélangeant la chaux et l'eau dans l'extincteur. La réaction qui se produit à environ 100 °C dégage de la vapeur et entraîne des matières particulaires et des gaz de STR en dehors du ventilateur. On possède peu de données sur les émissions, mais les quantités de particules sont faibles et celles de STR négligeables.

11.1.9 Production de lessive blanche. - Le mélange de carbonate de calcium, de sulfure de sodium, d'hydroxyde de sodium et d'eau produit par le caustificateur est acheminé vers le clarificateur de lessive blanche où le carbonate de calcium se solidifie. Le clarificateur produit de la lessive blanche qui constitue l'élément chimique principal de la liqueur de cuisson nécessaire à la réduction de la pâte kraft, décrite à la section 5.3.

Les boues solidifiées sont lavées par dilution, épaissies de nouveau dans un autre clarificateur appelé laveur de boues de chaux, épaissies à environ 70 p. 100 dans un filtre à vide, puis recalcinées dans un four approprié jusqu'à l'obtention de chaux vive, CaO.

Certaines usines se servent de fours de calcination à lit fluidisé au lieu de fours à chaux.

11.1.10 Fours à chaux. - Les fours à chaux rotatifs généralement utilisés dans les usines à pâte kraft sont de grands cylindres d'acier garnis de brique, de 2 à 3 m de diamètre et de 50 à 100 m de longueur. Ils sont inclinés à quelques degrés par rapport à l'horizontale et tournent lentement. À l'extrémité inférieure, le four est chauffé par un brûleur et les boues de caustification épaissies sont introduites à l'extrémité supérieure. Les boues ainsi que la pierre à chaux d'appoint descendent lentement dans le four tandis que la température s'élève au-dessus de 825 °C, qui est la température de décomposition du carbonate de calcium. Les températures élevées décomposent le carbonate de calcium en oxyde de calcium et en dioxyde de carbone. Les gaz qui traversent le four transportent des particules de composés de calcium et de sodium et le STR vers la cheminée d'évacuation.

Il est souhaitable que les boues contiennent une petite quantité de composés de sodium, car cela les empêche d'adhérer aux parois du four et permet de contrôler la grosseur des boules de chaux qui s'y forment. Des quantités excessives de composés de sodium dans les boues empêchent la chaux d'être trop collante. La chute des matières dans le four produit la formation de matières particulaires qui sont ensuite entraînées par les gaz de combustion. Certains composés de sodium résiduaire se volatilisent sous l'effet des températures élevées du four et sont ensuite évacués comme dans un canal. Une partie de sulfure de sodium restant dans les boues de chaux après le lavage produit du sulfure d'hydrogène en présence du dioxyde de carbone contenu dans les gaz de queue et qui peut être rejetée dans le four. La liqueur diluée est généralement utilisée comme source d'eau de rinçage du filtre à boues de chaux et d'eau de lavage des gaz de sortie du four à chaux et peut constituer la source principale des émissions de STR du four à chaux.

Les émissions du four dépendent de l'efficacité du lavage des boues, de la température à l'extrémité non chauffée du four, de la nature des boues de chaux, de celle du milieu de lavage et d'autres conditions d'exploitation. Les émissions particulaires du four à chaux sont généralement contrôlées par des épurateurs par voie humide ou, à l'occasion, par des épurateurs électrostatiques. Les émissions particulaires peuvent être limitées à des niveaux inférieurs à 0,5 kg/t séchée à l'air par l'un ou l'autre appareil.

Les émissions de STR peuvent dans une certaine mesure être contrôlées par les épurateurs par voie humide, selon le milieu d'épuration. L'emploi d'hydroxyde de sodium dans l'épurateur réduit considérablement les émissions de STR. Des niveaux de STR inférieurs à 0,003 kg/t de pâte ont été observés lorsqu'on utilise du NaOH.

Des méthodes de fonctionnement appropriées, comme un bon lavage des boues de chaux et l'emploi d'eau de rinçage d'épurateurs non contaminée, pourraient donner des émissions de STR ne dépassant pas 0,05 kg/t.

11.1.11 Effluents. - Théoriquement, les seuls effluents en provenance des aires de récupération de la pâte kraft devraient être des condensats d'évaporateurs de la liqueur verte et des particules abrasives, comme on l'a mentionné plus haut. Toutefois, l'évacuation intermittente de liqueur noire peut atteindre 20 kg/DBO par tonne de pâte. Ces déversements peuvent être ramenés à quelques kg/t grâce à une bonne conception et à des méthodes de fonctionnement appropriées, et un système de contrôle des déversements peut les réduire à des niveaux négligeables.

11.1.12 Émissions atmosphériques. - Il a été question des sources d'émissions atmosphériques dans la récupération de la pâte kraft au moment de la description de chaque pièce d'équipement ci-dessus. Les autres données sur les émissions d'usines de pâte kraft complètes, y compris leur atelier de récupération, sont incluses au chapitre 13.

Les bouches d'aération des réservoirs de stockage de liqueur noire et la vidange des effluents chimiques peuvent être classées comme des sources mineures. Des sources comme la ventilation de l'atelier des tamis, les lagunes et étangs de traitement ne dégagent normalement pas assez de STR pour qu'il soit nécessaire de le contrôler. Si les lagunes dégagent des émissions nauséabondes, il est généralement possible de les contrôler par des mesures sur place, plus généralement par la séparation du condensat.

La manutention des matières peut causer des problèmes mineurs d'émissions particulaires autour des usines de pâte kraft. La chaux et le sulfate de sodium brut peuvent provoquer des problèmes de poussière, mais les usines de construction récentes ont atténué ce problème grâce à un matériel de manutention et de transport confiné.

11.1.13 Déchets solides. - Les particules abrasives de l'extincteur sont généralement déposées dans des décharges à l'état de boues inertes à plus de 40 p. 100 de concentration. Dans les usines où la lie de liqueur verte est lavée sur un filtre à air, cette lie est également déposée dans une décharge avec les particules abrasives de l'extincteur.

11.2 Récupération du sulfite utilisé dans le procédé

Plus d'une douzaine de sortes de systèmes de récupération chimique sont utilisés dans le monde pour le procédé au sulfite, et font appel à des méthodes extrêmement différentes. Au Canada, les usines fonctionnant avec des appareils à combustion possèdent des systèmes différents pour récupérer les produits chimiques de cuisson. Deux usines traitent la liqueur épuisée et vendent le sous-produit. Généralement, seuls les systèmes à faible rendement sont jugés appropriés au procédé de récupération.

Tous les systèmes concentrent la liqueur de cuisson diluée, appelée liqueur rouge, provenant des laveurs des évaporateurs à effets multiples. Certains systèmes concentrent de nouveau la liqueur avant l'incinération en utilisant la chaleur contenue dans les gaz de queue de la chaudière de récupération, tandis que d'autres incinèrent la liqueur directement à partir des évaporateurs.

Les facteurs suivants sont propres à la récupération du sulfite en général:

- La technologie de récupération du sulfite est toujours en évolution, mais à l'heure actuelle il semble y avoir, en ce domaine, moins de recherche qu'à la fin des années 1960 et qu'au débit des années 1970. Plusieurs nouveaux systèmes ont été proposés mais seules quelques sociétés sont prêtes, face aux nouvelles exigences environnementales, à affronter un contexte économique incertain et des coûts d'immobilisation élevés, en installant un système qui n'a pas fait ses preuves.
- La majorité des usines ont des contraintes qui diffèrent considérablement selon les essences, la composition de la liqueur de cuisson, la charge de récupération, la production de pâte et les solutions d'intégration possibles.
- La rareté du bois de première qualité et la hausse des prix du bois sont d'autres raisons incitant à ne pas investir dans les procédés au sulfite, qui se limitent à quelques essences.
- Dans les conditions actuelles, une solution économique possible serait la transformation de certaines usines à faible rendement en usines à haut rendement au sulfite. Cela réduirait de 20 à 50 p. 100 la charge de DBO et la taille des futures installations secondaires de traitement des déchets. Cette mesure réduirait également la valeur thermique de la liqueur épuisée, rendant ainsi moins probable la justification économique d'un futur système de récupération.
- Au Canada, les nombreuses petites installations au sulfite suscitent un dilemme assez embarrassant. Elles sont trop petites pour qu'on envisage même un système

de récupération, mais elles n'en sont pas moins harcelées par les autorités chargées de la protection de l'environnement qui leur demandent de réduire les décharges de DBO et la toxicité des liqueurs épuisées. Contraindre ces usines à fermer leurs portes serait un désastre économique pour un grand nombre de petites localités.

11.2.1 Concentration de la liqueur diluée. - La liqueur rouge diluée des laveurs, contenant de 9 à 15 p. 100 de matières solides, est concentrée dans un évaporateur à effets multiples semblables à ceux des systèmes de récupération de kraft. La concentration maximale de la liqueur rouge diluée est atteinte lorsque les lessiveurs sont chauffés indirectement et que des laveurs à vide sont utilisés. Si l'on utilise la liqueur rouge provenant du lavage de la fosse de soufflage, la concentration de matières solides sera inférieure à 7 p. 100. Un système de lavage sous vide est généralement nécessaire si l'on veut que la récupération chimique soit possible, sans quoi les besoins en vapeur pour évaporer la liqueur seraient excessifs. Les évaporateurs à effets multiples de (3 à 6), semblables à ceux utilisés dans le procédé de la pâte kraft, doivent être utilisés. La liqueur rouge concentrée évacuée par les évaporateurs peut contenir entre 30 et 60 p. 100 de matières solides, selon le type des systèmes de combustion. En général, la liqueur de sulfite est corrosive et peut entraîner des problèmes d'entartrage et autres dans les évaporateurs, problèmes qui font monter les coûts d'exploitation et nécessitent des déversements assez fréquents de DBO.

Les seules émissions atmosphériques importantes provenant des évaporateurs sont celles du dioxyde de soufre qui peuvent s'élever à 50 kg/t de pâte et sont généralement recyclées dans le circuit. La DBO du condensat est élevée, comme nous l'avons exposée à la section 11.2.4.

11.2.2 Combustion de la liqueur et chaudières de récupération. - Les appareils de combustion de la liqueur épuisée peuvent différer considérablement selon la base chimique utilisée dans la cuisson et d'autres variantes du procédé. Lorsqu'on utilise le calcium, il se transforme en sulfate de calcium et en carbonate de calcium, tandis qu'une partie du soufre est oxydée et se transforme en dioxyde de soufre. Si l'on utilise de l'ammoniac, la base chimique se décompose, le soufre s'oxyde et forme du dioxyde de soufre. Si l'on se sert de magnésium, la poussière d'oxyde de magnésium produite par la décomposition des composés de magnésium est recueillie après la combustion et utilisée pour absorber le

dioxyde de soufre dans un système d'épuration. Lorsque l'on utilise de la soude, il en résulte un salin de composés de sodium en fusion (semblable à la liqueur kraft de cuisson). Une partie du soufre peut également être oxydée et former du dioxyde de soufre.

Le dioxyde de soufre des gaz de queue produit au cours des opérations est récupéré pour réutilisation par lavage avec la pâte liquide ou la solution chimique de base. Un appoint de dioxyde de soufre, préparé en brûlant du soufre, et d'une base chimique sert à combler les pertes de substances chimiques au cours de la cuisson.

Les liqueurs de sodium sont brûlées dans des appareils semblables aux chaudières de récupération du kraft ou dans des lits fluidisés. Avec une liqueur à base de sodium, certains procédés au sulfite transforment le sodium en un produit réutilisable dans l'acide de cuisson moyennant un cycle de récupération complexe. Lorsque le sodium est calciné dans un lit fluidisé, il se transforme en un mélange de carbonate de sodium et de sulfate de sodium. Ce mélange peut être utilisé comme substance chimique d'appoint dans les usines de kraft, dans le cas fort peu probable d'une demande locale suffisante, mais il ne peut être réutilisé dans la cuisson au sulfite. Une partie du soufre s'oxyde et se transforme en dioxyde de soufre.

Dans la production à grande échelle, la récupération avec une base de magnésium a donné de bons résultats. Le procédé de base est illustré à la figure 34. La liqueur diluée, dont la consistance est d'environ 12 p. 100, est récupérée par des laveurs à contre-courant, concentrée dans des évaporateurs à effets multiples et à contact direct jusqu'à l'obtention d'environ 60 à 65 p. 100 de matières solides puis pulvérisée dans une chaudière de récupération classique. Les produits de combustion sont une cendre de MgO sans carbone et du SO_2. Les gaz passent à travers une série de cyclones multiples où 85 p. 100 des cendres sont recueillies et évacuées avec l'eau dans un réservoir de rétention. La bouillie de MgO est ensuite transformée en $Mg(OH)_2$ dans le réacteur avant de servir à l'absorption du SO_2. La valeur thermique des résidus organiques des liqueurs épuisées est récupérée sous forme de vapeur pour la production d'énergie et les utilisations du procédé. Au total, la récupération chimique du soufre du $Mg(OH)_2$ est d'environ 80 p. 100. Un autre système de récupération au magnésium emploie un réacteur à lit fluidisé au lieu d'une chaudière. Ce système permet d'incinérer des matières solides dont la concentration est de 35 à 40 p. 100, et non pas de 60 à 65 p. 100, comme c'est habituellement le cas, mais l'efficacité thermique totale est inférieure.

Les liqueurs à base de calcium peuvent être brûlées dans des appareils complémentaires. Ces appareils ont été ajoutés à des chaudières ordinaires. Le calcium est transformé en sulfate et en carbonate, puis il est rejeté. La majeure partie du soufre

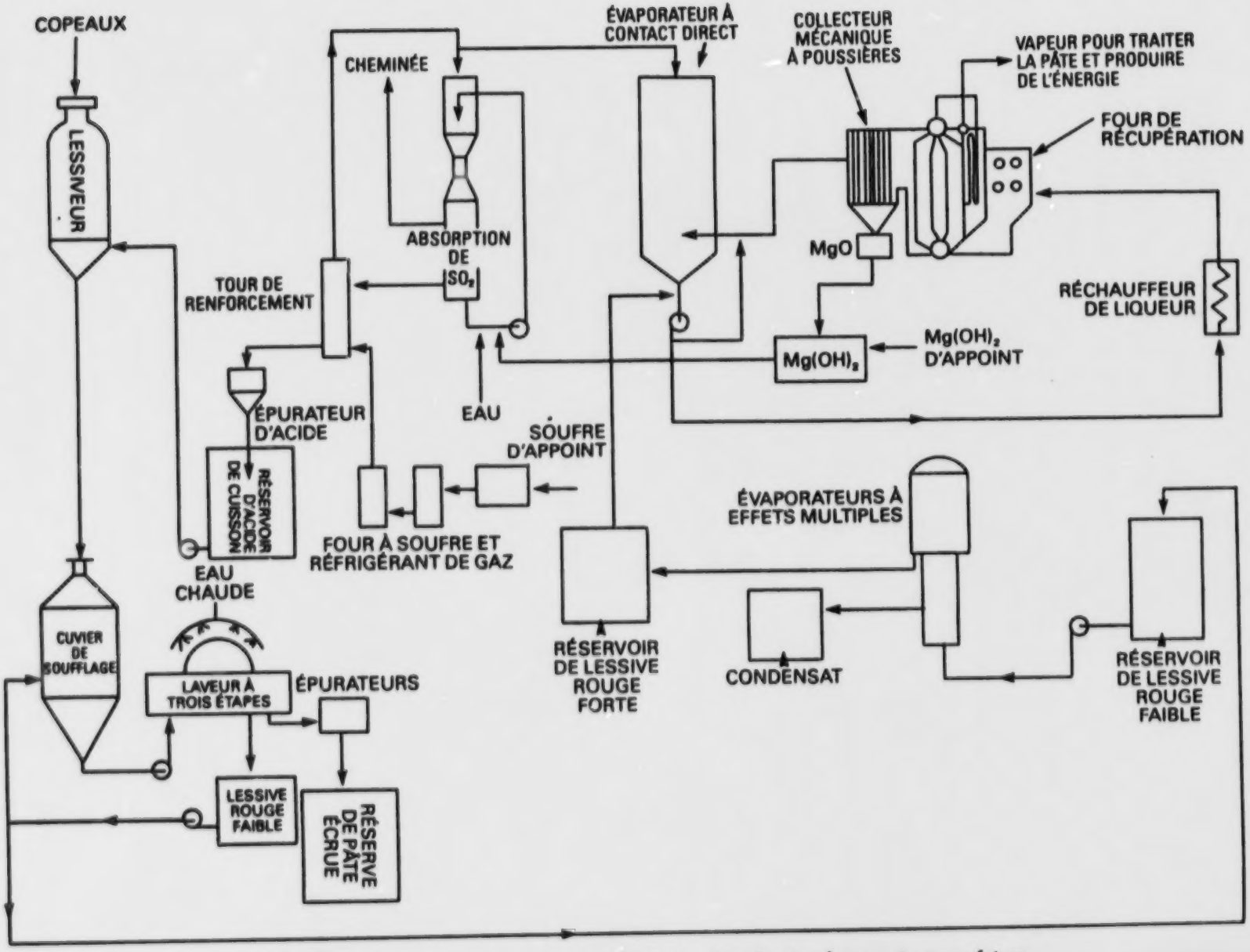

FIGURE 34 Diagramme d'un système de récupération à base de magnésium

s'oxyde et se change en dioxyde de soufre. L'emploi de calcium en tant que base est peu à peu abandonné pour un certain nombre de raisons, dont sa faible solubilité. Au Canada, il n'existe pas d'usines pouvant calciner la liqueur à base de calcium et la plupart des usines installées outre-mer ont fermé leurs portes à cause des émissions élevées de SO_2.

Lorsque les liqueurs à base d'ammoniac sont brûlées, il est inutile de recueillir des matières solides ou du salin, et d'ajouter des appareils de combustion complémentaires. L'ammoniac se décompose et le soufre est oxydé en dioxyde de soufre.

Le dioxyde de soufre obtenu au cours de l'un de ces processus de combustion (sauf celui à base de calcium) est débarrassé des gaz de queue et des particules par une solution chimique de base (en bouillie lorsque du magnésium est utilisé). Cette solution nettoyante devient l'acide de cuisson après avoir été renforcée par une quantité supplémentaire de dioxyde de soufre. Ce gaz utilisé pour le renforcement peut être obtenu par la calcination du soufre ou par l'achat de dioxyde de soufre liquide.

Le contrôle de la plupart des émissions particulaires dans ces appareils de combustion est effectué par les laveurs de gaz de queue, dont le principal objectif est la récupération du dioxyde de soufre pour la fabrication de l'acide de cuisson. Les appareils qui brûlent la liqueur à base d'ammoniac nécessitent un dispositif de contrôle pour enlever les fines particules une fois le lavage terminé. Le lavage peut réduire à moins de 2,4 kg/t les émissions particulaires.

Théoriquement, la limite supérieure des émissions non contrôlées de dioxyde de soufre peut atteindre jusqu'à 350 kg/t avant le lavage. Après, cette émission est estimée à moins de 10 kg/t. Avec le procédé à base de sodium utilisant des chaudières de récupération semblables aux chaudières de récupération de la pâte kraft, les émissions se rapprochent de celles du procédé kraft.

11.2.3 **Sources d'émissions diverses.** - Les sources diverses émettent principalement du dioxyde de soufre. Ces sources comprennent la séparation des condensats contaminés, le stockage des liqueurs et des acides et les égouts à agents chimiques. On ne dispose que de peu de données sur le niveau des émissions ou sur les méthodes de contrôle.

La manutention des matières peut causer des problèmes passagers de poussière aux alentours des usines de pâte au sulfite. Les copeaux, le soufre, la chaux et l'oxyde de magnésium font partie des matières manipulées qui peuvent susciter des problèmes de retombée de particules. Cependant, ces problèmes sont plutôt localisés et on ne dispose pas de données sur leur importance. Le déchargement et le stockage de substances chimiques comme l'ammoniac, le dioxyde de soufre et le chlore risquent de provoquer des

émissions si les mesures de manutention et d'entretien ne sont pas respectées. Ici encore, on ne possède pas de données sur ces émissions et les problèmes ont tendance à être très localisés.

11.2.4 Effluents. - Les opérations de la récupération chimique du sulfite produisent généralement des rejets de DBO beaucoup plus élevés que les opérations analogues dans les usines de pâte kraft. La principale source de cette DBO est le condensat des évaporateurs contenant de l'acide acétique et d'autres matières organiques qui sont volatiles dans les conditions de fonctionnement de l'évaporateur. La DBO totale des condensats dépend de la production de pâte, du pH de la liqueur diluée et des essences, et elle est de l'ordre de 50 à 120 kg/t de pâte, soit dix fois plus que celle de la fabrication de la pâte kraft. Le point d'ébullition de l'acide acétique étant assez près de celui de l'eau, l'extraction à la vapeur est tout à fait inefficace pour limiter cette source de DBO.

La liqueur de sulfite a tendance à beaucoup entartrer les évaporateurs et à obliger à de fréquents lavages et nettoyages des installations. Ces opérations obligent à déverser les liqueurs dans les égouts plus souvent que dans les usines de pâte kraft, malgré les précautions les plus rigoureuses, et elles peuvent facilement ajouter une valeur de DBO de 20 kg/t de pâte aux effluents de l'usine.

11.3 Récupération chimique dans la fabrication par des procédés mi-chimiques. - Les procédés mi-chimiques de fabrication de la pâte produisent beaucoup moins de liqueur que les procédés de fabrication de kraft à faible rendement ou au sulfite. Actuellement, une véritable récupération chimique n'est pas possible, sauf dans le cas d'une usine de pâte mi-chimique ne se servant pas de soufre.

Certaines usines recueillent la liqueur épuisée de la même manière que dans une usine de pâte kraft ou ont recours à des presses très puissantes pour séparer la liqueur et la pâte, puis pour faire évaporer la liqueur jusqu'à ce qu'elle ait une consistance d'environ 25 p. 100 et l'incinérer dans un four à lit fluidisé. La récupération de la chaleur est inefficace avec ce système. Le produit de la chaudière est un mélange de carbonate de sodium et de sulfate de sodium, qui ne peuvent être transformés de façon rentable en produits chimiques utiles à la mise en pâte. Ces produits peuvent néanmoins servir dans les usines de kraft s'il existe à proximité d'une source d'approvisionnement suffisant en pâte kraft et si la proportion de sodium et de soufre est compatible avec l'équilibre chimique de l'usine de pâte kraft.

En général, les émissions atmosphériques peuvent être rapidement ramenées à de faibles niveaux par lavage, et les condensats des évaporateurs constituent un déversement peu important de DBO comparativement à celui des usines au sulfite.

12 PRODUCTION DE VAPEUR ET D'ÉNERGIE

12.1 Introduction

L'énergie produite par la vapeur qu'utilisent les usines de pâtes et papiers provient de trois sources principales:

- la combustion des lessives résiduaires de la pâte, produites pendant le processus de mise en pâte chimique,
- la combustion du bois de rebut, composé de rejets et d'écorces,
- la combustion des combustibles fossiles comme le mazout, le gaz et le charbon.

En outre, cette industrie utilise une petite quantité de vapeur qu'elle produit par chauffage à l'électricité, quand l'opération est rentable. De plus, certaines quantités de vapeur de qualité inférieure sont récupérées grâce à des procédés comme la mise en pâte thermomécanique, grâce auxquels de grandes quantités d'énergie électrique sont transformées en chaleur au cours du raffinage.

La combustion des lessives résiduaires de la pâte, comme la liqueur noire produite pendant le procédé kraft, est opérée dans une chaudière de récupération chimique. L'installation ayant pour fonction essentielle de récupérer les produits chimiques, la vapeur produite varie selon le degré de chauffage de la liqueur et d'autres facteurs. Le four de récupération fournit normalement la charge de base pour les besoins en vapeur de l'usine, le reste de la vapeur étant produit par une ou plusieurs chaudières. Le système de récupération chimique est décrit à la section 11.

L'expression "chaudière énergétique" s'applique aux installations productrices de vapeur qui brûlent du bois de rebut ou des combustibles fossiles ou un mélange des deux. Cette chaudière se compose d'un système alimenté en combustibles, d'un système de combustion, d'un système de production de vapeur et d'un système de contrôle des émissions.

Le bois de rebut servant de combustible se compose de déchets de bois de toutes espèces comme la poussière de bois, les bâtons, les copeaux, les restes, les rognures, ainsi que l'écorce et les résidus de bois provenant de la coupe, de la manutention et de la préparation.

Une étude détaillée des types de chaudières installées dans l'industrie des pâtes et papiers au Canada est contenue dans le rapport EPS 3-AP-77-6.

12.2 Installation de production de vapeur

Les nouvelles usines possèdent une seule installation contenant la chaudière énergétique et, dans les usines de kraft ou au sulfite munies de systèmes de récupération, une chaudière avec un poste de contrôle central pour toutes les chaudières, commandé par les employés chargés de produire la vapeur nécessaire aux différents secteurs de l'usine. En conséquence, l'équipement accessoire de la chaudière comme les cheminées, les systèmes d'alimentation en eau de la chaudière et les réseaux d'égouts peuvent servir à plusieurs installations. Le système d'alimentation en eau de la chaudière produit un effluent servant à laver les filtres à contre-courant et d'autres effluents, comme de la saumure, selon le système de traitement employé. Cet effluent représente généralement une proportion insignifiante de l'effluent total dans l'usine.

12.3 Chaudière énergétique

Les systèmes d'alimentation en combustible et de combustion de la chaudière énergétique ont pour fonction de:

- contrôler l'introduction du combustible dans la zone de combustion,
- de mélanger le combustible à l'air pour obtenir une combustion presque complète;
- de maintenir l'allumage;
- de permettre l'enlèvement des cendres, et aux produits gazeux de quitter la zone de réaction en entraînant un minimum de matières particulaires.

La plupart des chaudières énergétiques conçues pour recevoir des déchets de bois utilisent une ou plusieurs variantes de la combustion en pile, par exemple sur des grillages stationnaires, mobiles ou en pente, ou dans des cellules doublées de matériau réfractaire, du type four à pain traditionnel. Bien qu'il existe d'autres méthodes de combustion pour le bois de rebut, comme l'allumage en suspension, les lits fluidisés ou la gazéification et la pyrolyse, des facteurs économiques ou techniques n'ont pas permis jusqu'à ce jour d'en répandre l'usage.

Étant donné qu'on pouvait en obtenir facilement, qu'ils étaient peu coûteux et commodes, les combustibles fossiles comme l'huile et le charbon ont depuis longtemps été préférés pour les chaudières énergétiques et utilisés soit seuls ou combinés avec des déchets de bois principalement parce qu'on estimait que c'était un moyen commode pour s'en débarrasser. De nombreuses chaudières énergétiques anciennes utilisent couramment comme combustibles des déchets de bois composés principalement d'écorce provenant de l'écorçage par voie humide, produit qui exige des opérations complexes de pressage et de

réduction et ne donne en fin de compte qu'un combustible à faible pouvoir calorifique et peu approprié aux fluctuations de la demande en vapeur. Par conséquent, il est nécessaire d'avoir recours aux combustibles fossiles pour satisfaire cette demande.

Dans les installations récentes, des améliorations de la conception des chaudières tout comme de meilleures méthodes d'allumage et de combustion, ainsi qu'un combustible plus sec obtenu par l'introduction de l'écorçage à sec et des méthodes améliorées de préparation des déchets de bois, font du bois de rebut un combustible commode et bon marché, si on compare son prix à celui des combustibles fossiles. Les méthodes récentes qui ont fait du bois de rebut une ressource énergétique intéressante, du point de vue économique, comprennent les systèmes de séchage du bois de rebut utilisant les gaz de queue des chaudières pour accroître la valeur combustible et réduire les déchets de bois en boulettes, ce qui permet de limiter les frais de transport et de manutention.

Une vue en hauteur d'une chaudière énergétique moderne destinée à brûler des déchets de bois, qui produit 90 000 kg/h de vapeur à 3500 kPa/345 °C et est équipée d'un grillage mobile et d'un cyclone multiple à deux étages, est illustrée à la figure 35. Les quantités de vapeur consommées par un procédé type pour les usines de pâte seulement figurent au tableau 14.

Les usines les plus anciennes étant concentrées dans l'est du Canada et leur développement ayant été sporadique, on trouve un grand nombre de chaudières énergétiques assez petites dont la production de vapeur est de l'ordre de 20 000 à 100 000 kg/h de vapeur. Dans les nouvelles usines plus grandes, les chaudières énergétiques uniques produisant de 100 000 à 200 000 kg/h de vapeur sont plus courantes.

TABLEAU 14 BESOIN TOTAL DE VAPEUR POUR LE PROCESSUS DE MISE EN PÂTE

Procédé	Plage de la demande de vapeur (kg/t de pâte)
Pâte kraft non blanchie	7 000 à 10 000
Pâte kraft blanchie	9 000 à 12 000
Sulfite neutre, traitement mi-chimique	7 000 à 9 000
Sulfite, non blanchie	5 000 à 6 000

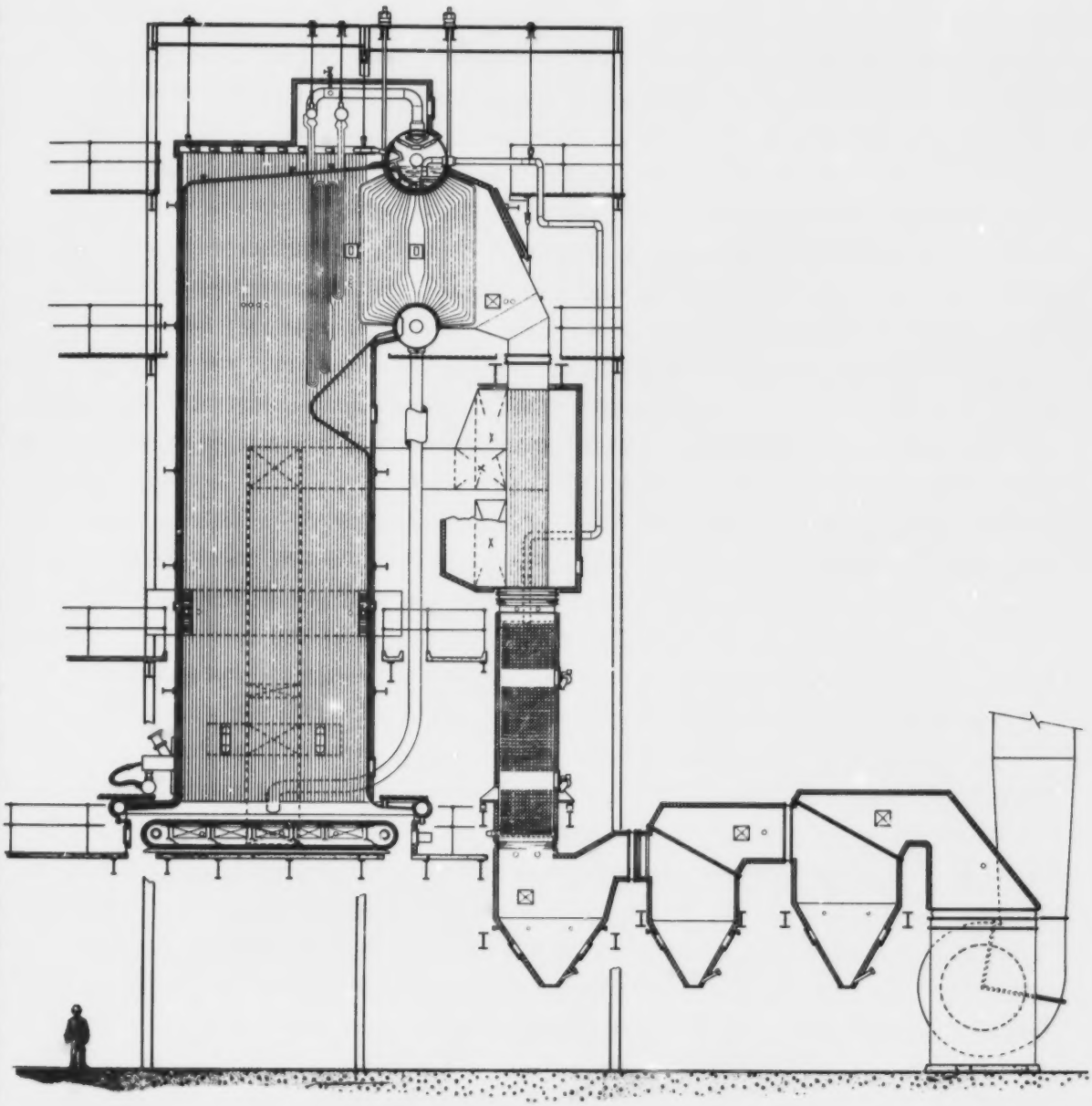

FIGURE 35 **Chaudière énergétique alimentée aux déchets de bois**
Cette chaudière est munie de plusieurs multi-cyclones à deux étages
(Combustion Engineering Canada)

Dans les usines ne possédant pas de chaudières de récupération chimique, il existe souvent une petite chaudière au mazout pour les cas d'urgence. Une usine moderne de 700 t/d de pâte kraft chimique blanchie séchée à l'air devrait posséder une chaudière de récupération et une chaudière énergétique d'une capacité de 220 000 kg/h et de 110 000 kg/h respectivement, les derniers chiffres étant établis en fonction d'un chauffage à 75 p. 100 aux déchets de bois et à 25 p. 100 aux combustibles fossiles.

Dans les usines anciennes de pâte kraft blanchie, la chaudière de récupération produit pratiquement la moitié de la vapeur nécessaire, tandis que dans les usines de pâte kraft blanchie plus modernes et à plus grande efficacité énergétique, la chaudière de récupération répond à au moins 80 p. 100 des besoins.

À toutes fins pratiques, une usine moderne thermomécanique de 450 t/d de pâte et de papier journal possédera une chaudière énergétique pouvant produire environ 100 000 kg/h de vapeur.

Selon les estimations de 1982, une chaudière énergétique monobloc entièrement installée et fonctionnant au mazout ou au gaz coûte de 30 à 50 $ par kg/h de vapeur produite, tout l'équipement accessoire inclus. Les grandes chaudières alimentées au bois de rebut d'une capacité de 100 000 à 200 000 kg/h coûtent entre 200 et 300 $ par kg/h de vapeur produite sur la même base, mais en incluant le stockage, la préparation et la manutention des déchets de bois.

12.4 Production d'énergie

La production d'énergie électrique ainsi que la production de vapeur pour obtenir la chaleur nécessaire au traitement, ou coproduction, se pratique de plus en plus au Canada, notamment dans les provinces où les coûts de l'énergie sont élevés. Après la seconde guerre mondiale jusqu'à 1973, période où le mazout ne coûtait pas cher, la production d'énergie dans les usines de papeterie ne permettait pas, en général, de réaliser des économies, et un grand nombre d'installations exploitées depuis des dizaines d'années ont été abandonnées parce que l'énergie pouvait être achetée à meilleur compte aux services publics. Mais ces facteurs économiques ont changé et, pour un grand nombre d'usines, la production d'énergie est beaucoup plus intéressante, notamment dans les installations avec des turbines à contre-pression.

Dans les systèmes plus anciens où les pressions productrices de vapeur varient entre 3000 à 4500 kPa avec une surchauffe limitée et où une fraction importante de la demande de vapeur se situe entre 1500 kPa, il n'est guère possible de produire de grandes quantités d'énergie. Avec les nouvelles chaudières de récupération et productrices

d'énergie, une production élevée de vapeur, c'est-à-dire de l'ordre de 6200 kPa à 450 °C, est fréquente, ce qui permet une plus forte chute de pression pour la production d'énergie par la turbine de vapeur à contre-pression.

La turbine à contre-pression est assez efficace pour transformer en électricité au moins 80 p. 100 de la chaleur provenant de la vapeur, étant donné que la vapeur produite par l'usine est entièrement utilisée. Si le combustible d'appoint de la chaudière ne coûte pas cher, comme c'est le cas avec les déchets de bois, l'électricité ainsi obtenue sera également bon marché.

Un autre type de turbine, dans lequel la vapeur obtenue est condensée par l'eau de refroidissement, permet de produire des quantités beaucoup plus grandes d'énergie par kilogramme de vapeur. Toutefois, ce procédé s'avère sensiblement moins efficace et, la plupart du temps, peu rentable, lorsque par ailleurs l'énergie des services publics est accessible.

Les incidences environnementales de la coproduction énergétique par des turbines à contre-pression ont trait à l'utilisation accrue des déchets de bois ou d'autres combustibles dont la manutention, le stockage et la combustion doivent influer sur la quantité des émissions atmosphériques. Dans certains cas, l'utilisation accrue des déchets de bois, notamment ceux qui contiennent de l'écorce, a l'immense avantage d'atténuer ou même de faire disparaître le problème de l'élimination des déchets. Lorsque l'énergie est produite dans des turbines à condenseurs, il faut tenir compte des incidences environnementales supplémentaires découlant du rejet de l'eau de refroidissement. La tendance actuelle favorisant l'installation dans les usines de pâte de grandes chaudières efficaces a l'immense avantage d'amener la fermeture des incinérateurs à bois inefficaces et polluants des scieries locales.

La politique courante du gouvernement fédéral est d'encourager, grâce à un programme de subventions, la coproduction énergétique chaque fois que l'on n'utilise pas de ressources supplémentaires de combustibles fossiles pour la production d'énergie. À l'échelle nationale, l'augmentation de l'utilisation des déchets de bois en tant que combustible a pour avantage de remplacer le pétrole riche en soufre et de limiter l'importation du mazout à un lieu précis, souvent loin de l'usine.

12.5 Émissions des chaudières et déchets solides

Les principales émissions atmosphériques provenant des chaudières énergétiques se composent de matières particulaires et de dioxyde de soufre. Les émissions de dioxyde de soufre proviennent du soufre contenu surtout dans le mazout ou le charbon, le bois de rebut et le gaz naturel n'en contenant qu'une fraction négligeable.

Les émissions particulaires des chaudières non munies d'appareils de contrôle des émissions atmosphériques varient de 2 kg/GJ pour l'incinération de la lignine ou des charbons bitumineux laissant beaucoup de cendres, et à une valeur type de 1,5 kg/GJ lorsque le bois de rebut est incinéré dans des chaudières modernes, et environ 0,05 kg/GJ lorsque l'on incinère de l'huile lourde. Normalement la combustion du gaz naturel ne laisse qu'une quantité insignifiante d'émissions particulaires.

Le taux des émissions non contrôlées dépend du type et des quantités de combustible brûlé, de la vitesse de combustion, du type de brûleur, de la température du foyer, des dispositifs de contrôle de la combustion et des changements dans la demande de vapeur. Les chaudières énergétiques anciennes à lits de combustible épais ou à combustible en pile et avec peu de turbulence dans la zone de combustion produisent généralement des émissions particulaires en plus grandes quantités à cause de l'entraînement de particules combustibles légères non brûlées. Il est difficile de remédier à ce phénomène, qui est inhérent à ce type de chaudière. Les émissions de dioxyde de soufre non contrôlées varient de 1 à 1,5 kg/GJ lorsque l'on brûle des combustibles contenant de 1 p. 100 à 2 p. 100 de soufre.

Les cendres non combustibles et les matières inertes, ainsi que les particules combustibles imparfaitement brûlées sont évacuées sous forme de cendres en descendant vers la grille, dans le bas de la chaudière, ou sous forme de cendres volatiles plus lourdes éliminées par les appareils de contrôle des émissions particulaires ou dans l'atmosphère avec les gaz de queue.

Le tableau 15 montre la quantité type de déchets solides obtenus avec une chaudière énergétique moderne de 110 000 kg/h munie d'un chargeur-régulateur mécanique de foyer avec un injecteur d'air, une grille à mailles très fines et des appareils de contrôle des émissions particulaires.

12.6 Appareils de contrôle des émissions particulaires

12.6.1 Émissions particulaires. - Les appareils de contrôle des émissions particulaires comportent généralement des collecteurs mécaniques utilisant la force centrifuge. Il peut s'agir de cyclones à action multiple ou de cyclones à grand diamètre. Dans des conditions normales, les collecteurs mécaniques des nouvelles chaudières permettent aux installations alimentées au bois de respecter la norme provinciale habituelle de 225 mg/m^3 à 12 p. 100 de CO_2 relative aux émissions particulaires. Toutefois, il se peut que ces appareils ne soient pas suffisants dans les usines des régions côtières où le sel, amené par le flottage des billots dans l'eau de mer, constitue un apport important de matières particulaires fines qui doivent être enlevées.

TABLEAU 15 DÉCHETS SOLIDES PROVENANT DES CHAUDIÈRES ÉNERGÉTIQUES ALIMENTÉES AUX DÉCHETS DE BOIS

Combustible brûlé	45 000 kg/h
Teneur en humidité	45 - 50%
Vapeur produite	110 000 kg/h
Déchets solides produits	
- cendres sur la grille	115 kg/h
- appareils antipollution atmosphérique	400 kg/h
- émissions particulaires à la cheminée	50 kg/h

Les autres systèmes destinés aux chaudières énergétiques alimentées par des déchets de bois comprennent des épurateurs par voie humide qui donnent des résultats supérieurs à ceux des collecteurs mécaniques. Mais ils ont l'inconvénient d'ajouter de la vapeur d'eau aux gaz, produisant ainsi un panache visible et des dépôts humides qui nécessitent souvent un traitement. Leurs coûts d'entretien et d'exploitation sont considérablement plus élevés que ceux des systèmes mécaniques.

Les épurateurs électrostatiques qui, de tout temps, ont été utilisés avec des chaudières de récupération chimique et celles alimentées au charbon, sont employés avec un nombre limité de chaudières alimentées au bois de rebut et presque uniquement sur la côte Ouest. Le rendement du combustible sans sel est supérieur dans les collecteurs mécaniques, mais leur efficacité est considérablement amoindrie par la présence du sel. On croit que le rendement des épurateurs électrostatiques est diminué par la conductibilité électrique des cendres volatiles, les particules perdant leur charge et étant réentraînées dans le courant de gaz en circulation. L'installation et l'entretien des épurateurs électrostatiques coûtent beaucoup plus cher que ceux des autres appareils de contrôle des émissions particulaires, ce qui tend aussi à en limiter le degré de fiabilité.

Le tableau 16 présente un résumé du rendement relatif des trois principaux systèmes de contrôle des émissions particulaires avec certaines indications de coût par ordre d'importance.

12.6.2 **Émissions gazeuses.** - Les émissions de SO_2 peuvent être contrôlées en limitant la teneur en soufre du charbon ou du mazout ou en lavant les gaz de queue afin d'enlever le SO_2 avant l'évacuation. La méthode la plus courante pour contrôler les émissions de

TABLEAU 16 COÛTS ET RENDEMENT DES APPAREILS DE CONTRÔLE DES ÉMISSIONS PARTICULAIRES

Type	Coût d'immobilisation - Installé ($/m^3/h)	Consommation énergétique (W/m^3/h)	Rendement (mg/m^3)
Multi-cyclones	1 - 2	1,5 - 0,4	jusqu'à 200
Épurateur par voie humide	3 - 5	3,0 - 0,6	moins de 200
Épurateur statique	5 - 7	0,5 - 1,3	moins de 200

SO_2 dans l'industrie des pâtes et papiers consiste à utiliser du charbon ou du mazout à faible teneur en soufre. On arrive à ce résultat en mélangeant des combustibles à teneurs élevée et faible en soufre, mais cette pratique augmente généralement les coûts du combustible. Bien que les laveurs de gaz de queue servant à enlever le SO_2 soient couramment utilisés dans les très grandes chaudières de l'industrie de la côte Ouest américaine, ils sont coûteux et ne se justifient que par le manque de combustibles à faible teneur en soufre, notamment le charbon. Dans le cas de l'industrie des pâtes et papiers, l'emploi accru des déchets de bois comme combustible ne réduit les émissions de dioxyde de soufre d'une usine que dans la mesure où le bois remplace du mazout et du charbon contenant du soufre.

Les chaudières de récupération chimique de kraft produisent des émissions de SO_2 comparables à celles du mazout à très faible teneur en soufre, de sorte que la conservation énergétique améliorée a tendance à réduire les émissions totales de SO_2, si la proportion de vapeur produite par la combustion de mazout ou de charbon est diminuée.

12.7 Effluents

Les usines productrices d'énergie utilisent à plusieurs fins l'eau de refroidissement qui, dans certains cas, est évacuée dans les égouts de l'usine. Cette pratique augmente les coûts de traitement des effluents, et leur dilution a tendance à gêner quelque peu le fonctionnement des usines de traitement biologique. Cependant, la

dilution réduit la toxicité des effluents mesurée selon les Règlements sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers, et cet avantage peut l'emporter nettement sur les inconvénients. De nombreuses usines utilisent toute l'eau de refroidissement pendant le processus de production ou en évacuent l'excédent directement dans le milieu récepteur pour diminuer la charge hydraulique de l'usine de traitement des effluents.

Les quantités d'eau de refroidissement évacuées peuvent varier de zéro à environ 25 m^3/t de pâte pour les usines qui ne possèdent pas de turbines à condenseurs. L'enthalpie de l'eau de refroidissement évacuée par les usines de pâtes et papiers est normalement insuffisante pour avoir des effets nuisibles sur le milieu récepteur par suite du réchauffement. Dans les cas, rares, où une usine possède une turbine à condenseurs, le débit de l'eau de refroidissement peut être important au point où il serait nécessaire de considérer ces effets sur la température du milieu récepteur. Les teneurs en matières solides et en DBO de l'eau de refroidissement sont négligeables.

Bon nombre d'usines se servent d'eau pour transporter les cendres de la chaudière, et l'évacuation de celles-ci peut constituer pour l'effluent une source majeure de matières solides en suspension, si la conception ou le procédé est inapproprié. Parfois, les cendres sont acheminées au système de traitement des effluents de l'usine, ce qui a pour effet d'éliminer pratiquement toutes les matières solides en suspension lorsque le système est bien conçu et fonctionne correctement.

13 MÉTHODES DE TRAITEMENT DES EAUX USÉES

13.1 Traitement des effluents

L'effluent liquide sortant d'une usine peut nécessiter un traitement avant le déversement dans une nappe ou un cours d'eau. Selon les caractéristiques de l'effluent non traité et des règlements, un traitement primaire, secondaire ou même tertiaire peut être nécessaire pour ramener l'impact de l'effluent traité à des niveaux acceptables pour l'environnement particulier de l'usine.

Le prétraitement comprend des procédés de traitement initial destinés à éliminer le sable, les matières grossières et les débris, à neutraliser les résidus acides ou alcalins et à égaliser les caractéristiques et les écoulements de l'effluent par le mélange des effluents collectés et l'orientation des écoulements occasionnels importants ou concentrés, qui surviennent normalement au cours de l'exploitation d'une usine de pâtes, dans des bassins ou des réservoirs de déversement.

Les procédés de traitement primaire sont conçus pour éliminer les matières solides en suspension dans l'effluent et ils comprennent normalement la déshydratation des matières solides décantées et récupérées ou des boues, de manière à en faciliter la combustion ou l'élimination dans une décharge contrôlée. Le traitement primaire est indispensable pour la plupart des procédés de traitement secondaire.

Les procédés de traitement secondaire réduisent la partie biodégradable des éléments organiques dissous de l'effluent. Cette partie biodégradable est exprimée sous forme de DBO. La matière biodégradable ajoutée aux eaux réceptrices consomme une partie ou la totalité de l'oxygène dissous et peut provoquer la mort des poissons et de toute vie aquatique. La plupart des procédés de traitement secondaire réduisent également la toxicité des effluents pour les poissons.

Le traitement tertiaire est la phase finale du traitement des effluents et comprend une vaste gamme de procédés pour éliminer les autres nuisances comme la couleur, l'odeur, le goût et la toxicité des effluents après les étapes du traitement primaire et secondaire. Le traitement tertiaire peut être utilisé pour éliminer les matières chimiques et organiques dissoutes, les gaz dissous et les matières solides résiduaires en suspension, ainsi que les matières biodégradables.

Dans de nombreuses usines, les procédés de traitement externes sont conçus pour traiter entièrement ou partiellement l'effluent de l'usine. Dans les usines récentes, les effluents sont séparés pour faciliter et réduire le coût du traitement. Par exemple, les effluents des nouvelles usines de pâte kraft blanchie, qui ne contiennent que très peu de

matières solides en suspension ne passent normalement pas par le procédé de traitement primaire, de façon à réduire la taille des installations de traitement primaire. L'eau de refroidissement, qui ne pourrait qu'entraver l'efficacité du traitement, est normalement déviée du traitement primaire et secondaire. Les effluents de l'atelier de préparation du bois, provenant de l'écorçage par voie humide, sont souvent traités séparément avant d'être combinés à l'effluent du reste de l'usine et peuvent être traités à nouveau. Un graphique type du déroulement des systèmes de traitement primaire et secondaire est présenté à la figure 36.

Les déchets liquides des toilettes, des salles de bain et autres installations sanitaires des bureaux dans les nouvelles usines sont collectés et traités dans un réseau d'égouts séparatif. Le traitement est effectué selon la méthode municipale courante, souvent dans une usine mixte. Après la chloration finale, ces eaux usées peuvent être ajoutées à l'effluent de l'usine pour l'élimination commune.

Dans les anciennes usines, les eaux usées sont déversées dans l'égout le plus proche ou sont évacuées dans un fossé, ce qui peut polluer le cours d'eau récepteur par des bactéries pathogènes. Le traitement traditionnel de ces bactéries est effectué par la chloration ou l'ozonation, mais cela n'est guère pratique en raison des demandes chimiques élevées des débits relativement importants des effluents d'usines. De nombreuses usines modifient constamment leurs réseaux d'égouts séparatifs en fonction des méthodes modernes. Les usines ont tendance, en règle générale, à adopter un échéancier semblable à celui des agglomérations locales pour l'amélioration du traitement des eaux usées.

13.1.1 **Résumé des caractéristiques des effluents des usines.** - Les caractéristiques des effluents des usines varient et dépendent du procédé, du taux de production, du degré d'application des mesures de réduction de l'effluent dans l'usine et de la qualité de l'exploitation. Les caractéristiques de l'effluent unitaire non traité, typiques des opérations courantes des usines de pâtes et papiers, sont présentées au tableau 17.

13.1.2 **Prétraitement.** - Les méthodes courantes de prétraitement sont l'élimination du sable et des débris et le dégrillage de l'effluent. Les cendres inorganiques, les détritus provenant du procédé de préparation du bois, le sable et le gravier doivent habituellement être éliminés des effluents pour réduire l'abrasion et prévenir l'endommagement des pompes, de la tuyauterie et de l'équipement de déshydratation des matières solides. Le dessableur est un décanteur par gravité qui peut être nettoyé périodiquement soit manuellement, soit automatiquement par des moyens mécaniques. Des grilles à barreaux

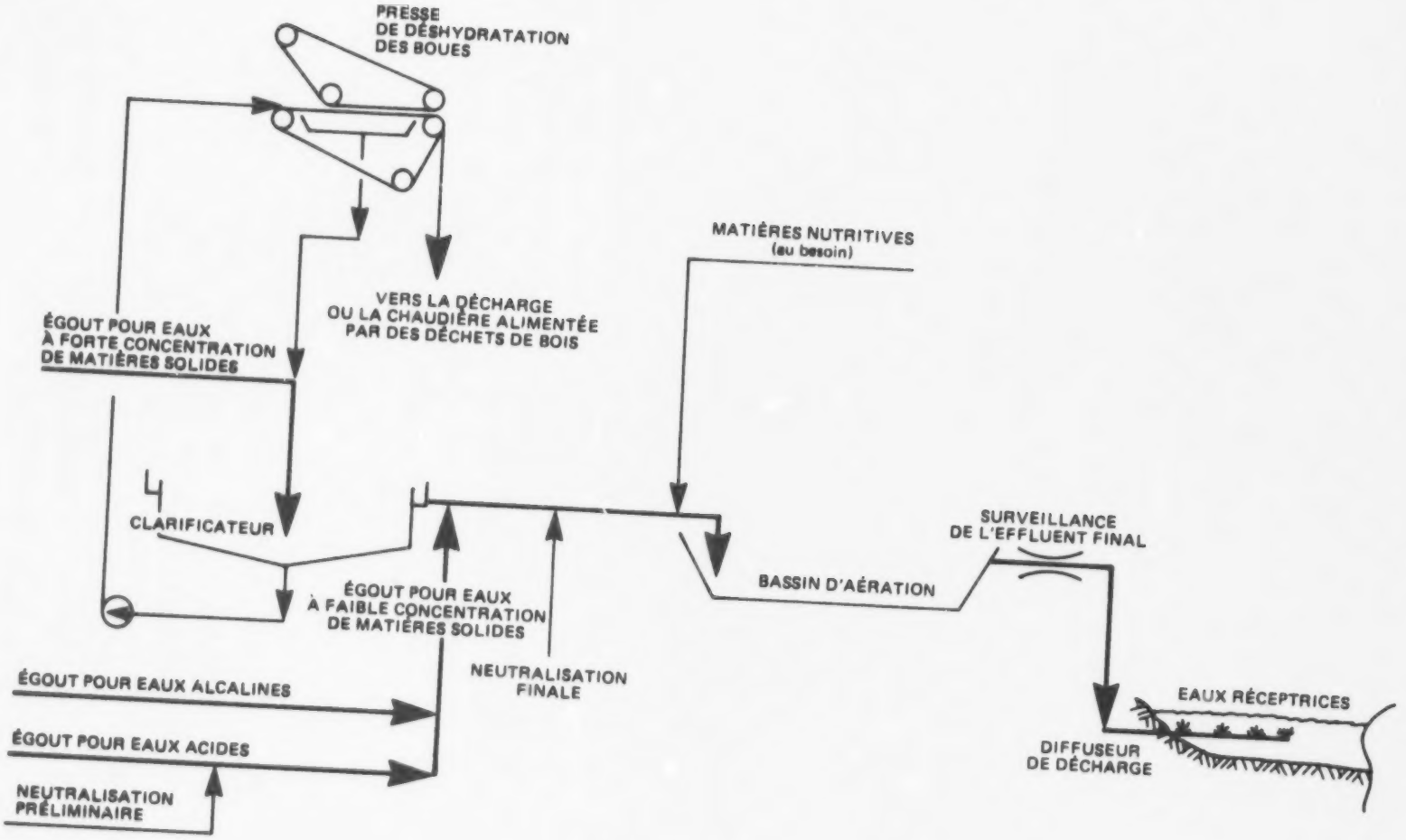

FIGURE 36 Système typique de traitement de l'effluent

TABLEAU 17 CARACTÉRISTIQUES TYPIQUES DES EFFLUENTS DES USINES DE PÂTES ET PAPIERS

	Débit (m^3/t)	Matières solides en suspension (kg/t)	DBO (kg/t)
Pâte kraft écrue	10-100	5-50	5-25
Pâte kraft blanchie	100-240	35-60	30-50
Usine de papier journal (incluant la pâte au sulfite)	20-150	10-50	40-80
Pâte au sulfite sans récupération	150-300	10-50	140-300
Pâte mi-chimique au sulfite neutre	10-100	5-25	5-50

espacés de 1 à 3 cm sont couramment utilisées pour enlever les gros débris qui pourraient boucher les barrages-déversoirs et les canalisations d'évacuation des boues. Actuellement, les grilles à barreaux nettoyées mécaniquement sont les plus employées.

Un deuxième procédé important de prétraitement est la neutralisation de l'effluent de l'usine. Non seulement le pH des eaux usées peut avoir des effets sur les cours d'eau récepteurs, mais un pH extrême peut aussi provoquer une grave corrosion et nuire considérablement au traitement secondaire. Le pH de l'effluent doit normalement se situer entre 6,5 et 8,0 pour prévenir les perturbations dans les systèmes de traitement biologique secondaire. La conception de la méthode de neutralisation dépend du pH, de l'acidité et de l'alcalinité des égouts séparatifs de même que de leur débit. La plupart des usines de pâte kraft blanchie ont, de nos jours, des égouts séparatifs pour les eaux acides, alcalines et celles contenant de nombreuses matières solides (à pH essentiellement neutre). L'égout pour les eaux acides contient habituellement l'effluent provenant des étapes de blanchiment à l'acide et l'effluent des installations connexes de préparation chimique contenant de l'acide chlorhydrique, de l'acide sulfurique et d'autres acides, et dont le pH varie entre 1 et 3. Les eaux usées contenant des cendres provenant de la chaudière d'énergie, du four à chaux et des opérations de récupération comprennent de grandes quantités de matières inorganiques alcalines. Les effluents provenant de la fabrication de pâte kraft sont alcalins tandis que ceux de la fabrication de pâte au sulfite sont acides. Les déchets de l'extraction par caustification provenant de l'usine de blanchiment sont également très alcalins.

Dans les usines de pâte kraft, la neutralisation de l'effluent peut être réalisée, dans une grande mesure, par l'utilisation de produits chimiques résiduaires et le mélange approprié des effluents choisis. La boue de chaux provenant de l'épurateur du four à chaux est ajoutée aux eaux acides à un taux contrôlé pour permettre d'augmenter sommairement le pH. Après le mélange avec les eaux usées alcalines, ce qui augmente davantage le pH, un rajustement final est effectué par l'addition d'acide ou de soude caustique avant le traitement secondaire. Dans les anciennes usines, l'absence d'égout séparatif et les contraintes imposées par la configuration de l'usine peuvent empêcher l'utilisation de cette méthode économique de neutralisation. Un système typique de neutralisation des eaux usées acides provenant d'une usine de pâte kraft est présenté à la figure 37.

Des bassins ou des réservoirs de déversement, en plus de ceux qui sont normalement installés dans les services de l'usine, sont couramment utilisés pour le stockage temporaire des eaux usées concentrées et déversées au cours de pannes soudaines du procédé. Les eaux déversées, ainsi contenues, peuvent être traitées séparément ou réintégrées dans le circuit à un rythme contrôlé pour éviter les surcharges soudaines lors du traitement ultérieur.

13.1.3 Traitement primaire. - Le traitement primaire est effectué dans des clarificateurs par gravité ou dans des décanteurs et, dans certains cas, dans des appareils de flottation sous pression. Le traitement primaire élimine 80 à 95 p. 100 de la partie décantable des matières solides en suspension. Le reste des matières solides en suspension ou de la partie non décantable, comprenant des matières colloïdales ou très fines, passe dans le système et, s'il s'agit d'une fraction importante de la masse totale, peut nécessiter l'addition de produits chimiques pour activer la décantation. Les adjuvants de décantation ou de floculation sont l'alun, le chlorure ferrique et les polyélectrolytes. Comme une partie de la DBO dépend des matières solides en suspension dans l'effluent, le traitement primaire réduit normalement la DBO totale d'environ 10 p. 100.

Le traitement primaire est généralement effectué dans un clarificateur par gravité qui consiste en un bassin circulaire équipé de racles de boues. L'effluent est alimenté au centre et s'écoule de façon radiale vers le barrage-déversoir situé à la périphérie. Les matières solides déposées au fond du clarificateur sont raclées vers le centre par le système de raclage mécanique rotatif, puis elles sont enlevées et déshydratées avant l'évacuation.

En outre, il est possible d'utiliser des bassins de décantation, habituellement creusés dans le sol avec des structures en béton pour l'admission et l'évacuation. Ces

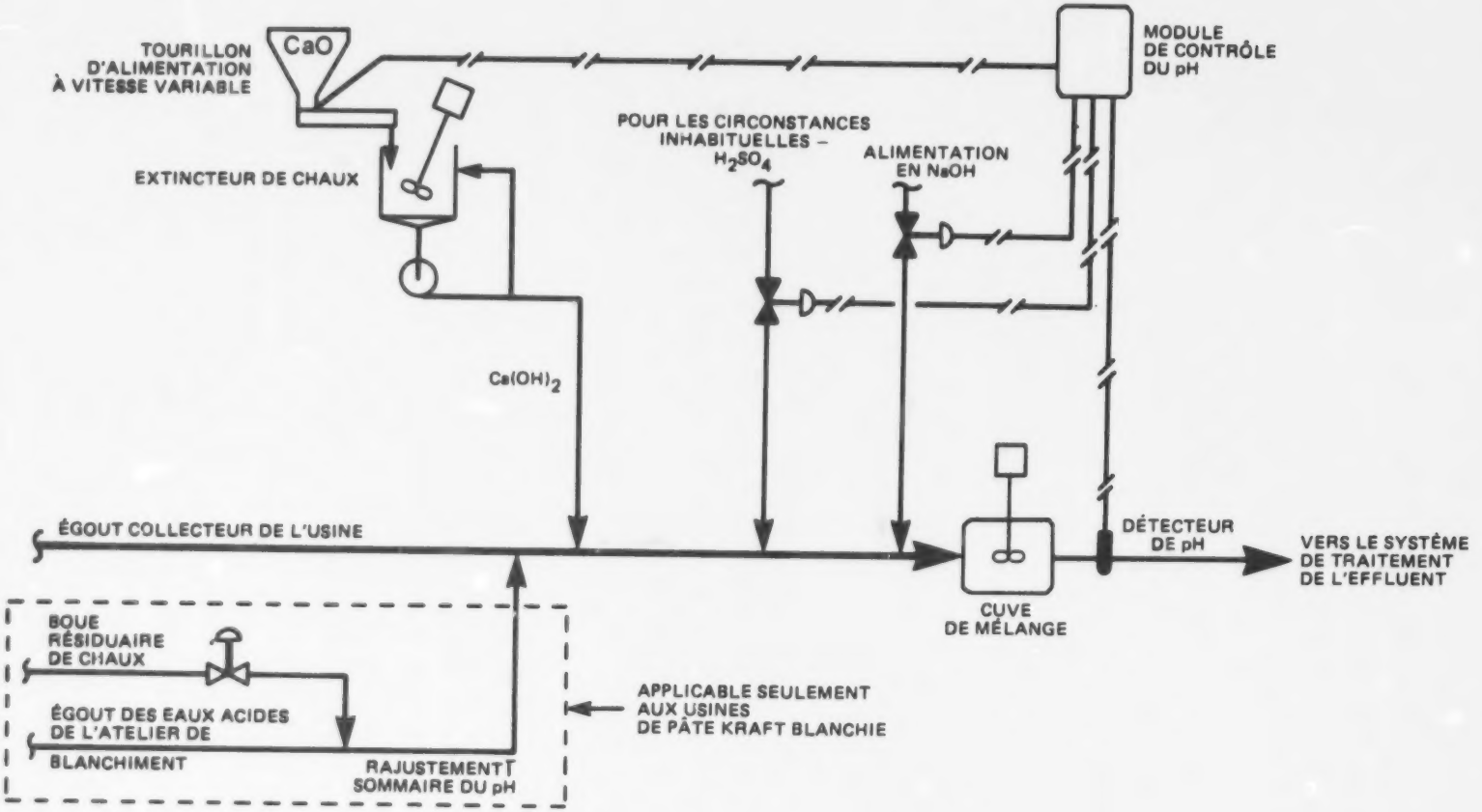

FIGURE 37 Système de neutralisation des eaux usées d'une usine de kraft

bassins sont normalement conçus pour un temps de séjour de 6 à 24 heures, ce qui permet aux matières solides décantables de se déposer dans le fond du bassin. Ils peuvent être revêtus d'argile ou d'une membrane afin de réduire l'infiltration dans le sol. Les bassins sont nettoyés à l'aide d'appareils de terrassement. Bien que le coût initial de ces bassins soit peu élevé, leur nettoyage peut être coûteux parce qu'il n'y a pas de moyens pratiques de déshydrater les boues avant leur évacuation. Toutefois, ils sont très fiables s'ils sont bien construits car leur fonctionnement ne dépend d'aucun équipement mécanique. Lorsque leur emplacement est bien choisi, le coût de nettoyage de ces bassins est inférieur à celui de l'exploitation d'un clarificateur primaire. Dans les installations récentes, les bassins de décantation sont souvent utilisés en appoint au système de traitement primaire pour la clarification par gravité et ils servent également de bassins de déversement, lorsqu'il y en a plusieurs.

La déshydratation des boues produites par un clarificateur de traitement primaire est normalement effectuée sur des presses à bandes ou des filtres à vide, ce qui augmente la consistance des boues d'environ 2 p. 100 à 20 ou 40 p. 100. Dans certaines usines, où les boues primaires sont brûlées en même temps que les déchets de bois dans la chaudière d'énergie, une autre étape de déshydratation est assurée dans une pression conique ou en V pour augmenter la déshydratation d'environ 5 à 15 p. 100. L'évacuation des boues dans une décharge est analysée, plus loin dans ce volume.

Les désavantages du brûlage des boues du traitement primaire sont notamment l'abrasion supplémentaire de l'intérieur des chaudières et d'éventuels problèmes d'entartrage dus aux éléments des matières inertes des boues à faible point de fusion.

13.1.4 Traitement secondaire. - Le traitement secondaire vise à éliminer la DBO provoquée par les matières organiques dissoutes dans l'effluent et est normalement fondé sur des processus biologiques. Les bassins d'aération ont pratiquement été adoptés par toute l'industrie canadienne des pâtes et papiers pour le traitement secondaire. Il existe d'autres méthodes comme les boues activées à l'air ou à l'oxygène, les disques biologiques et les lits bactériens.

Le traitement secondaire a normalement pour objet de réduire la DBO de 70 à 95 p. 100 et de rendre l'effluent non toxique pour les poissons, selon les dispositions du Règlement fédéral sur les effluents des pâtes et papiers. Un traitement biologique peut convertir une grande partie des matières organiques dissoutes dans l'effluent de fabrication en eau, en dioxyde de carbone ou en matières organiques en suspension. Dans le dernier cas, il peut être nécessaire d'installer certains équipements pour déshydrater

ces matières solides et les évacuer de manière acceptable pour le milieu. Cette partie du traitement nécessite autant de travaux de conception et d'exploitation que la principale partie de la réaction biologique.

Les processus de traitement biologique des effluents comptent sur les micro-organismes naturels pour convertir les matières organiques dissoutes en matières inoffensives pour le milieu. Les mécanismes fondamentaux des processus ont été exposés en détail dans de nombreux ouvrages de référence et l'explication suivante ne vise qu'à donner un aperçu des facteurs clés qui influent sur la conception et l'exploitation des systèmes de traitement des eaux usées dans l'industrie des pâtes et papiers. Ce sujet a été traité en détail, avec de nombreuses références, dans le rapport EPS 3-WP-76-4F. Comme fondamentalement tous les systèmes utilisent la voie aérobie (c'est-à-dire la présence d'oxygène), l'exposé suivant ne tient pas compte des processus anaérobies.

Les micro-organismes sont un mélange de bactéries, d'algues, de champignons, de protozoaires et d'autres formes de vie supérieures, qui se transforment continuellement pour s'adapter aux caractéristiques et aux conditions de l'effluent dans la cuve de réaction. Les bactéries dominent et leurs caractéristiques doivent donc être prises en considération pour évaluer le rendement des systèmes de traitement biologique des eaux usées. La majorité des bactéries ont une taille de 0,001 à 0,005 mm et elles sont entourées d'une membrane cytoplasmique par laquelle doivent passer toutes les molécules organiques, que le système de traitement doit en principe éliminer de l'effluent.

Les matières dans les effluents des pâtes et des papiers qui provoquent la DBO et les propriétés toxiques sont principalement des composés organiques et ont une vaste gamme de poids moléculaires. Ce sont les molécules les plus petites qui sont traitées de préférence, en raison de la tendance qu'ont les systèmes de traitement biologique à traiter plus efficacement les polluants à faible poids moléculaire, comme le méthanol, que les matières à poids moléculaire élevé, comme les acides de résines et les chlorolignines.

Bien que les micro-organismes puissent s'adapter aux changements de qualité de l'effluent, il n'est pas rare que les effluents de l'industrie des pâtes et papiers changent trop brusquement pour qu'ils puissent réagir, ce qui peut provoquer des réductions brusques de leur population et une baisse d'efficacité du traitement.

Les micro-organismes flottent librement dans l'effluent et peuvent être décelés par les essais classiques des matières solides en suspension ou de façon visuelle en raison de la turbidité qu'ils provoquent. Lorsque la population microbiologique est suffisamment concentrée et que le traitement de l'effluent peut être effectué à des débits raisonnables,

certains ou la majeure partie des organismes se déposeront au fond du bassin, à moins d'être maintenus en suspension par une agitation mécanique.

Le traitement biologique consiste, en fait, à créer les conditions favorables à la croissance d'une population saine de micro-organismes nourrie des matières organiques contenues dans l'effluent. La plupart des données et des ouvrages publiés sur la conception et l'exploitation des systèmes de traitement biologique portent sur les eaux usées municipales. L'inefficacité d'un grand nombre de systèmes de traitement des effluents de l'industrie des pâtes et papiers tient au fait que les systèmes ont été conçus d'après des paramètres de traitement municipaux, qui ne conviennent pas en général aux eaux usées de l'industrie des pâtes et papiers. Les principaux paramètres sont le temps de séjour, le pH, la température et l'apport de matières nutritives suffisantes.

Le pH dans la cuve de réaction biologique doit être presque neutre, ce qui nécessite normalement l'installation d'un équipement de contrôle automatique du pH. Certains systèmes biologiques ont une capacité tampon considérable, de sorte que le contrôle précis du pH n'est souvent pas nécessaire et que la fiabilité du système installé est plus importante qu'un haut degré de précision dans le contrôle.

La température maximale acceptable pour un système de traitement biologique est d'environ 35 °C. Dans les systèmes à courte période de contact (inférieure à 12 heures), il peut être nécessaire d'installer une tour de refroidissement pour l'effluent de l'usine de pâte, surtout que la pratique actuelle de recyclage intensif des effluents en usine, pour en réduire le volume, augmente en général la température de l'effluent. Des températures très basses empêchent les réactions biologiques nécessaires au traitement efficace de l'effluent et cet aspect doit être pris en considération dans la conception des systèmes à temps de contact prolongé (de plus de 48 heures) là où les hivers sont rudes. L'expérience a démontré que les prévisions d'une grande partie de la documentation américaine sur l'échec total des processus de traitement biologique en hiver, ne s'appliquent pas aux effluents de l'industrie des pâtes et papiers au Canada. En règle générale, la température élevée de l'effluent ainsi que la couche de mousse caractéristique empêchent la température de descendre en dessous des niveaux acceptables dans les systèmes de traitement, bien que l'efficacité de réduction de la DBO soit normalement plus faible en hiver qu'en été.

Les principales matières nutritives nécessaires sont le carbone, l'oxygène, l'azote et le phosphore. Il y a toujours suffisamment de carbone, puisque l'objectif du système de traitement vise normalement à éliminer les éléments de carbone organique de l'effluent. L'oxygène doit être fourni par des moyens mécaniques, la plupart du temps par des

aérateurs de surface. Les effluents de l'industrie des pâtes et papiers manquent en général d'azote et de phosphore; ces matières sont donc ajoutées pour maintenir l'efficacité du système de traitement.

Le temps de contact, dans les systèmes pratiques de traitement biologique, varient d'environ 2 heures à 20 jours, 4 à 10 jours étant la norme la plus courante dans l'industrie des pâtes et papiers au Canada. Au moment de la conception et de l'exploitation des systèmes de traitement biologique de l'effluent, il est essentiel de tenir compte du fait que la réaction du système à un changement de qualité de l'effluent brut, ou à d'autres paramètres d'exploitation, est normalement d'un à trois ordres de grandeurs plus lente que les réactions chimiques ou physico-chimiques utilisées dans les procédés de fabrication des pâtes et des papiers. Donc, plusieurs semaines peuvent être nécessaires pour évaluer l'effet des changements dans les méthodes d'exploitation ou les charges d'effluent sur un bassin d'aération où le temps de contact des effluents est de six jours. Cette réaction lente est un atout en ce qui concerne la capacité d'absorption des charges périodiques, mais un obstacle au contrôle efficace du processus.

L'analyse générale précédente du traitement biologique s'applique à tous les systèmes aérobies. D'autres points particuliers sont étudiés ci-dessous dans le contexte des processus couramment utilisés.

Le bassin d'aération est un lieu où l'effluent séjourne couramment de trois à dix jours et où, en présence d'oxygène dissous, de matières nutritives et de faibles concentrations d'organismes, la population biologique se nourrit des matières organiques de l'effluent. L'oxygène dissous est régénéré par des aérateurs électriques à la surface du bassin ou par des diffuseurs ou des mélanges situés dans le fond du bassin et qui utilisent l'air fourni par des canalisations. Les besoins classiques en matières nutritives d'environ 5 parties d'azote et une partie de phosphore par 100 parties de DBO sont fréquemment comblés par l'addition d'urée ou d'ammoniac et d'acide phosphorique au cours des premiers mois d'exploitation du bassin. L'expérience a prouvé que ces matières nutritives se recyclent suffisamment dans le bassin pour rendre l'addition continue inutile dans de nombreux cas. Une grande partie des matières solides en suspension produites par la réaction se déposent dans le bassin et sont consumées par auto-oxydation. L'un des principaux facteurs dans la conception et l'exploitation des bassins d'aération consiste à veiller à ce que l'auto-oxydation se produise, de manière à éviter les opérations de nettoyage difficiles et coûteuses.

Par rapport aux autres méthodes de traitement secondaire, les bassins d'aération occupent une surface importante. Toutefois, ces bassins présentent des avantages certains sur des systèmes plus perfectionnés, notamment:

- capacité d'absorber des charges périodiques d'effluent concentré sans modification appréciable de l'efficacité du traitement;
- peu ou pas d'addition nécessaire de matières nutritives, sauf au moment de la mise en route initiale (par conséquent, un déversement peu important de matières nutritives);
- faible production de matières solides décantables, évitant ainsi les processus de clarification et l'élimination des boues;
- faible consommation d'énergie, attribuable à l'absence de traitement des boues;
- meilleure élimination de la toxicité; et
- plus grande fiabilité attribuable à la simplicité de l'équipement mécanique.

Les éléments toxiques des effluents d'usines de pâtes sont ceux qui se dégradent le plus lentement sous l'action des organismes biologiques. Les procédés exigeant des périodes de contact plus longues, comme le séjour dans le bassin d'aération, assurent par conséquent une meilleure élimination de la toxicité que les procédés à courtes périodes de contact. Cela peut réduire considérablement l'impact des déversements des effluents sur les poissons et sur la vie aquatique des petits cours d'eau.

Dans les autres procédés, comme ceux aux boues activées ou à disques biologiques, une très forte quantité de matières biologiquement actives entrent en contact avec les déchets organiques de l'effluent d'usine en un temps relativement court. La réduction de la DBO est très rapide, puisqu'il ne faut que 2 à 6 heures pour effectuer le traitement, dans des systèmes beaucoup plus petits par conséquent. Plus la réaction est rapide, plus il y a production de matières solides en suspension. Pour réduire les matières solides en suspension dans l'effluent et maintenir le processus biologique, l'effluent de sortie doit être clarifié et la majeure partie des boues collectées sont renvoyées à l'entrée du système de traitement. Les boues en excès, environ 0,5 à 1 kg de matières solides par kg de DBO éliminée, doivent être déshydratées et évacuées de façon efficace, ce qui peut nécessiter des quantités importantes d'énergie et de produits chimiques. Un schéma de déroulement d'un procédé aux boues activées est présenté à la figure 38.

Le procédé aux boues activées pour la réduction de la DBO, avec de l'air ou de l'oxygène, peut être plus économique que les bassins d'aération lorsque le terrain est limité. Un certain nombre d'usines de kraft, de cartonneries et d'usines de désencrage aux États-Unis ont adopté cette méthode pour le traitement des effluents, mais le procédé est

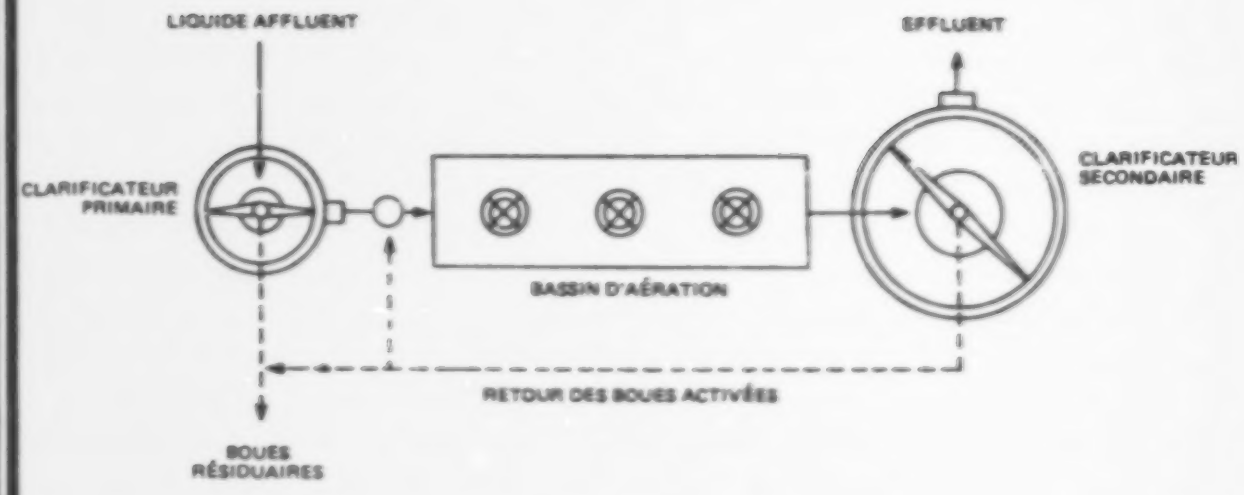

FIGURE 38 Schéma de déroulement d'un procédé aux boues activées

peu utilisé au Canada. La plupart des usines ont suffisamment de terrains pour exploiter des bassins d'aération dont la capacité de réduction de la toxicité est supérieure à celle des systèmes aux boues activées.

Les systèmes biologiques à haut rendement ont été généralement mis au point pour le traitement des effluents municipaux. En théorie, ils peuvent éliminer la DBO de façon plus efficace que les bassins d'aération à faible régime, mais l'expérience pratique dans l'industrie des pâtes et des papiers a été décevante, en raison principalement de la grande variation de qualité des effluents bruts qui sont caractéristiques de ces eaux usées. Il est prouvé que l'élimination de la toxicité par le procédé des boues activées est inférieure en règle générale à celle d'un système à faible régime.

Les procédés d'aération utilisés dans le traitement secondaire des eaux usées des usines de pâtes entraînent la formation d'une couche de mousse qui a un effet bénéfique pour retenir la chaleur dans les bassins sous des climats froids. Cette mousse est normalement enlevée avant le déversement de l'effluent traité dans le cours d'eau par des canalisations submergées et en évitant les décharges brusques productrices de mousse tout comme l'écoulement par des tuyaux partiellement pleins.

13.1.5 Traitement tertiaire. - Les éléments qui restent dans l'effluent après les traitements primaire et secondaire sont les matières solides résiduelles en suspension, la

DBO résiduelle, la couleur et les matières qui provoquent la toxicité létale ou sublétale, les odeurs et le goût.

Les procédés de traitement tertiaire conçus pour réduire ou éliminer ces éléments résiduels sont généralement coûteux à exploiter et comprennent:

- l'absorption au charbon actif,
- le traitement massif à la chaux, et
- la séparation de la mousse.

Il n'y a que quelques usines canadiennes, avec des problèmes particuliers, qui ont installé des systèmes de traitement tertiaire.

13.1.6 Décharge et évacuation de l'effluent traité. - Le mode de décharge d'un effluent d'usine dans une eau réceptrice a un effet important en matière d'impact environnemental. Il est presque toujours souhaitable de diluer l'effluent le plus rapidement possible après l'évacuation et presque toujours nécessaire de prendre des mesures pour réduire ou éliminer la mousse et la couleur visibles à la surface des eaux réceptrices.

L'endroit doit être soigneusement choisi et, dans certains cas, il est plus efficace de consacrer davantage de ressources à la construction d'un exutoire efficace du point de vue environnemental qu'à une station de traitement des eaux usées. Dans le cas d'une usine située près de l'embouchure d'une petite rivière, par exemple, un exutoire de quelques kilomètres de long, pour déverser l'effluent dans la mer, minimise davantage l'impact environnemental de l'usine que n'importe quel autre traitement d'effluent, aussi efficace soit-il.

Le choix et la conception d'un exutoire obéissent aux particularités d'un site, de sorte qu'il est difficile de fournir des lignes directrices générales. L'efficacité de la dilution doit être évaluée, et il faut tenir compte des effets des courants et des différences de densité entre l'effluent et les eaux réceptrices.

En plus de satisfaire aux critères environnementaux, le site de l'exutoire doit convenir à la construction d'une installation de structure solide. Le rendement d'un exutoire est très fiable (plus que tout système de traitement d'effluent), mais les défauts de structure sont parfois difficiles à corriger, particulièrement au cours des hivers canadiens.

13.1.7 Méthodes d'échantillonnage, de surveillance et d'analyse. - Les méthodes d'échantillonnage et de surveillance ont été définies pour tous les effluents des usines dans

les Règlements sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers (EPS 1-WP-72-1). En plus de se conformer à ces règlements, la plupart des usines effectuent un certain échantillonnage et une certaine surveillance internes pour être en mesure de définir les responsabilités en matière d'effluents et, en particulier, pour identifier et minimiser les décharges et les déversements. Les informations recueillies sont également souvent utilisées pour la conception et l'optimisation des systèmes de contrôle de l'effluent à l'intérieur de l'usine.

La toxicité de l'effluent est définie différemment par diverses autorités, mais les normes pertinentes au Canada sont toutes fondées sur un certain type de test de mortalité des poissons. Les directives du gouvernement fédéral sont basées sur un test de toxicité aiguë décrit dans le rapport portant le numéro EPS 1-WP-80-1.

Les autres paramètres utilisés couramment pour la définition de la qualité de l'effluent et pour les règlements sont établis conformément aux Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, publiées par l'American Public Health Association. Ce document est mis à jour et réédité périodiquement et c'est toujours la dernière édition qui fait foi. Au moment de la rédaction du présent document, c'est la 15e édition qui a cours.

13.1.8 Coûts de traitement de l'effluent. - Les coûts caractéristiques en capital pour le traitement de l'effluent dans les usines relativement récentes sont détaillés au tableau 18. Ces coûts sont présentés à titre indicatif seulement et peuvent varier considérablement selon la disponibilité des terres, le besoin de pompage, la configuration et la complexité des égouts, les conditions du sol, la topographie et autres aspects particuliers d'une usine donnée. L'ajout d'un système de traitement d'effluent à une ancienne usine serait généralement plus coûteux, car l'emplacement de l'usine n'aurait pas été normalement choisi en vue de l'installation d'un système de traitement d'effluent. Tous les coûts ont été rajustés sur la base de 1982.

13.2 Contrôle des émissions atmosphériques

Dans la plupart des cas, le contrôle des émissions atmosphériques se fait soit par de l'équipement installé directement à la source ou non loin, soit par une conception et des techniques particulières d'exploitation de l'équipement à la source. Ces aspects ont été présentés dans les parties 5 à 12 de ce rapport. La présente partie fait la somme des émissions totales et analyse certains éléments qui sont mieux traités à l'échelle complète d'une usine que par service seul.

TABLEAU 18 COÛT EN CAPITAL DES SYSTÈMES DE TRAITEMENT DE L'EFFLUENT

Produit	Pâte en balle	Carton doublure	Papier journal	Papier journal
Procédé	Kraft de résineux blanchi	Kraft écru	Pâte mécanique au bisulfite	PTM
Production - Nombre de tonnes par jour séchées à l'air	700	700	750	500
Effluent non traité				
- débit (m^3/d)	60 000	35 000	75 000	35 000
- matières solides en suspension (kg/d)	25 000	15 000	24 000	15 000
- DBO kg/d	20 000	10 000	30 000	13 000
Coûts de traitement (en millions de dollars)				
- primaire ($)	4	3	5	3
- secondaire ($)	12	7	15	9
TOTAL	16	10	20	12

13.2.1 Règlements sur les émissions atmosphériques. - Les directives du gouvernement fédéral ont été exposées à la section 2.3 et sont résumées au tableau 19. Divers autres règlements applicables à l'industrie sont résumés au tableau 20.

Les objectifs provinciaux de la Colombie-Britannique sont moins rigoureux pour les usines en exploitation, quels que soient les types d'émissions, que les restrictions imposées à ces usines dans les États de Washington et de Floride. Toutes les usines doivent toutefois atteindre finalement les limites imposées aux "nouvelles usines". En Suède, les limites pour les usines en exploitation n'ont été élargies que dans le cas des matières particulaires des usines de kraft et de pâte au bisulfite, bien qu'une plus grande latitude soit accordée à ces usines pour se conformer aux règlements. Les règlements de l'État de Washington et dans une certaine mesure, les objectifs de la Colombie-Britannique sont des exemples des restrictions de plus en plus rigoureuses imposées aux usines en exploitation, dans un cadre temporel précis.

13.2.2 Sources et contrôle des émissions atmosphériques. - Les tableaux 21 et 22 résument les émissions totales du procédé de fabrication de pâte, signalées par

TABLEAU 19 DIRECTIVES DU GOUVERNEMENT FÉDÉRAL RELATIVES AUX ÉMISSIONS ATMOSPHÉRIQUES DES NOUVELLES USINES

	Émissions maximales (kg/t de pâte séchée à l'air)
Usines de kraft	
Matières particulaires	
Chaudière de récupération	2,5
Four à chaux	0,5
Dissolveur de salin	0,25
STR	
Chaudière de récupération	0,15
Lessiveur, évaporateur à effets multiples Enlèvement du condensat	0,015
Four à chaux, dissolution du salin Cuve, piles laveuses de pâte brune Oxydation de la liqueur noire	0,225
Usines de pâte au bisulfite	
Matières particulaires	2,5
Anhydride sulfureux	10,0
Chaudières de vapeur et d'énergie	
Matières particulaires (corrigées à 12 % de CO_2)	
Alimentation au charbon	230 mg/m^3
Alimentation mixte	340 mg/m^3
Alimentation au mazout	160 mg/m^3

les usines de kraft et de pâte au bisulfite en 1973-1974. Les émissions des usines de pâte blanchie sont présentées au tableau 12. Il est à remarquer qu'un grand nombre des techniques de mesure des émissions, utilisées au début des années 1970 pour le STR, sont maintenant rejetées à cause de leur imprécision et, généralement, parce qu'elles sous-estiment les taux d'émission, particulièrement les faibles concentrations. Les émissions actuelles sont inférieures, probablement d'environ 25 p. 100, à celles qui sont indiquées aux tableaux 21 et 22, mais aucun inventaire national n'est disponible.

TABLEAU 20 DIRECTIVES ET RÈGLEMENTS PROVINCIAUX ET ÉTRANGERS POUR LES ÉMISSIONS ATMOSPHÉRIQUES

	Objectifs de la Colombie-Britannique				Floride		Suède	
	Nouvelle usine	Usine en exploitation	Alberta	Washington	Nouvelle usine	Ancienne usine	Nouvelle usine	Ancienne usine
Usines de pâte kraft								
Chaudière de récupération								
- STR à titre de soufre (kg/t)			0,25	0,25				
- H_2S (ppm)	6,5	26			1,0*	17,5	10	10
Autres sources								
- STR à titre de soufre (kg/t)	0,225	0,35						
Matières particulaires								
Chaudière de récupération								
(mg/m^3)	250	500					250	500
(kg/t)			2	2	1,5	1,5		
Four à chaux								
(mg/m^3)	250	250					250	250
(kg/t)			0,5	0,5				
Dissolveur de salin (kg/t)	0,2	0,4		0,5				
Chaudières alimentées aux déchets de bois								
(mg/m^3)	250	250					500	500
(kg/t)				0,8-2,5				
Usines de pâte au bisulfite								
Matières particulaires (mg/m^3)	250						250	500
SO_2 (kg/t)	10						10	20

* Aucune usine n'a jamais respecté ce règlement.

TABLEAU 21 ÉMISSIONS DE MATIÈRES PARTICULAIRES, STR ET SO_2 DES USINES DE KRAFT

	kg/t de pâte séchée à l'air		
	Matières particulaires	STR	SO_2
Chaudières de récupération			
Nombre d'usines ayant répondu	39	31	21
Moyenne	8,7	3,9	2,1
Médiane	4,5	1,3	1,2
Maximum	54	20,7	12,8
Minimum	0,35	0,007	0,1
Dissolveurs de salin			
Nombre d'usines ayant répondu	28	24	1
Moyenne	1	0,04	0,15
Médiane	0,6	0,03	N/A
Maximum	4,1	0,25	N/A
Minimum	0,04	0,004	N/A
Cuves de caustification			
Nombre d'usines ayant répondu	4	6	
Moyenne	0,25	0,001	
Maximum	0,75	0,004	
Minimum	0,005	0	
Four à chaux			
Nombre d'usines ayant répondu	35	26	12
Moyenne	0,72	0,12	0,25
Médiane	0,45	0,09	0,08
Maximum	6,3	1,5	2
Minimum	0,04	0,001	0,01

* Ces données proviennent du questionnaire figurant dans le rapport EPS 3-AP-77-6 et se rapportent aux usines canadiennes.

L'autre principale source d'émissions atmosphériques est la centrale génératrice d'électricité et de vapeur. Cet aspect est abordé en détail au chapitre 12. En raison de la grande variation dans les pratiques, les combustibles et les exigences au niveau local, il n'est pas possible d'établir des liens entre les émissions et les produits ou la dimension de l'usine.

TABLEAU 22 ÉMISSIONS DES USINES KRAFT PROVENANT DES SOURCES DE "STR" SEULEMENT

	Soufre total réduit* (kg/t de pâte séchée à l'air)			
	Lessiveur	Trieur de noeuds et laveur	Oxydation de la liqueur noire	Évaporateur à effets multiples
Nombre d'usines ayant répondu	5	18	9	10
Moyenne	0,9	0,1	0,07	0,45
Médiane	0,43	0,7	0,05	0,31
Maximum	2,25	0,39	0,28	1,2
Minimum	0,12	0,01	0,02	0,03

* Ces données proviennent d'usines dont les émissions ne sont pas contrôlées; elles sont extraites du questionnaire figurant dans le rapport EPS 3-AP-77-6 et se rapportent aux usines canadiennes.

13.2.3 **Surveillance et analyse.** - Il est en général beaucoup plus coûteux et plus long de déterminer les taux d'émissions atmosphériques que le taux des effluents. Sauf dans le cas de l'anhydride sulfureux, il n'existe aucun équipement automatique capable de mesurer le taux d'émission des polluants atmosphériques courants de l'industrie des pâtes avec suffisamment de fiabilité pour servir au contrôle réglementaire, bien que plusieurs systèmes puissent, à titre d'appareil de surveillance sur place, prévenir les exploitants lorsque les taux d'émissions sont anormalement élevés.

La vérification de la conformité des émissions aux règlements est généralement faite par une équipe de trois experts qui effectuent une série de trois essais fondés sur une ou plusieurs des normes suivantes:

1) La surveillance de l'émission des matières particulaires est basée sur les méthodes décrites dans le rapport EPS 1-AP-74-1.
2) La surveillance de l'anhydride sulfureux est basée sur les méthodes décrites dans le rapport EPS 1-AP-74-3.
3) La surveillance des émissions d'oxyde d'azote est basée sur les méthodes décrites dans le rapport EPS 1-AP-77-3.

La surveillance des émissions de STR a été faite de plusieurs manières, mais obéit présumément à une méthode de référence provisoire qui doit, selon les prévisions, être normalisée par le SPE en 1983. Il existe plusieurs autres normes, notamment celles de

l'Association canadienne de normalisation, et certaines usines ont utilisé dans le passé les méthodes américaines, mais cette pratique tend à diminuer.

S'il est normal pour les laboratoires des usines d'effectuer leur propre surveillance de l'effluent, il est plus courant d'engager des spécialistes indépendants pour mesurer les émissions atmosphériques, principalement en raison du coût élevé de formation et de maintien d'une équipe compétente pour le travail essentiellement intermittent de mesure des émissions aux cheminées d'usine.

13.2.4 Réduction des odeurs et dispersion des polluants atmosphériques. - La plupart des règlements destinés à réduire les odeurs aux alentours des usines de pâte, à l'exception de ceux de l'Ontario, sont basés sur les taux d'émissions plutôt que sur les concentrations au niveau du sol. Toutefois, l'impact de toute émission de STR sur les concentrations au niveau du sol dépend souvent davantage de la hauteur, de la température et de la vitesse de l'émission que de la quantité de gaz nauséabonds émis. Dans le cas d'une usine de pâte avec une disposition typique de cheminées, un kilogramme de STR émis à partir d'un évent froid peu élevé, peut avoir un effet plus de 1000 fois supérieur sur les concentrations ambiantes de STR au niveau du sol que le même kilogramme émis à partir d'une cheminée chaude, élevée, comme celle d'une chaudière de récupération.

L'état des connaissances actuelles en modélisation mathématique pour la prévision de la dispersion atmosphérique des émissions des cheminées d'usine est suffisamment avancé pour permettre la comparaison entre différentes dispositions de cheminées et d'évents pour n'importe quel emplacement d'usine, même sur un terrain accidenté. Cette modélisation nécessite souvent de très gros ordinateurs ce qui, autrefois, était un obstacle mais ne l'est plus de nos jours en raison de la forte baisse du prix des ordinateurs.

13.3 Traitement et évacuation des déchets solides

13.3.1 Sources des déchets solides. - Du point de vue de la quantité, c'est l'écorce qui forme, et de loin, la plus importante part des déchets solides produits par les usines de pâtes et papiers. Dans une usine de kraft, le tonnage d'écorce à éliminer représente 30 p. 100 des pâtes produites si l'usine écorce 100 p. 100 de son bois sur place. Toutefois, de nombreuses usines de kraft et autres font livrer leur bois, en partie ou en entier, sous forme de copeaux, de sorte que la quantité d'écorce à éliminer est souvent beaucoup moins importante.

Les sources et les quantités de déchets solides, produits dans les divers services des usines, ont été décrites dans d'autres parties de ce manuel. En résumé, les déchets solides qui peuvent être produits dans une usine sont, par service:

Atelier de préparation	- écorce, pierres, gravier, sable
Réception et traitement des copeaux	- fines particules, bâtons, pâtons gelés et résidus
Usine de pâte	- noeuds, copeaux de décharge
Machine de pâte ou de papier	- rejets de l'épurateur
Chaufferie	- cendres lourdes, cendres volantes
Traitement de l'effluent	- boues du clarificateur primaire, déchets
Atelier de finition, ateliers divers, magasins, bureaux, laboratoires	- déchets divers

En outre, dans la fabrication de la pâte kraft, l'atelier de recaustification produit des sables et des dépôts.

La partie combustible des déchets solides, c'est-à-dire l'écorce, les fines particules de copeaux et les résidus, les boues du clarificateur et autres, est souvent brûlée pour récupérer la chaleur et pour éviter le coût d'évacuation dans une décharge.

13.3.2 **Méthodes d'évacuation.** - Anciennement, le déversement des écorces sur le terrain de l'usine, souvent près d'elle ou près de la ville, formait des amoncellements vraiment gigantesques qui, dans certains cas, existent encore. Ces piles sont souvent mal situées et entraînent la pollution de l'eau en raison de la DBO et la toxicité très concentrées des percolats des écorces.

L'élimination de n'importe quels déchets solides d'usine, contenant ou non un élément combustible, nécessite maintenant des méthodes appropriées d'évacuation pour respecter les règlements qui comprennent généralement:

- des critères relatifs à la proximité du site par rapport aux routes, aux autoroutes, aux demeures et aux autres constructions, aux cours d'eau et aux lacs;
- des études de sol, pour déterminer la perméabilité;
- l'établissement de puits d'essais;
- la détermination de l'écoulement, de la profondeur et de la qualité des eaux souterraines;

- la description des sources, des quantités de déchets et du calendrier d'élimination;
- le contrôle du percolat et la surveillance des eaux souterraines;
- le développement progressif comprenant l'enfouissement par couches et la couverture finale des déchets solides avec de la terre pour rendre au site son aspect original.

14 QUESTIONS PARTICULIÈRES

Le présent chapitre porte sur divers sujets qui n'ont pu être abordés dans les chapitres précédents, parce qu'ils concernent plusieurs des principales divisions de l'usine.

14.1 Contrôle interne par rapport au traitement externe

Les mesures de contrôle interne sont en règle générale considérées comme des mesures de protection de l'environnement fondées principalement sur la modification de l'équipement de production ou des systèmes de contrôle des procédés, ou sur le choix de procédés ou d'équipements peu polluants avec, pour objectif, la réduction de la détérioration du milieu par des effluents, des émissions atmosphériques ou des déchets solides. Les mesures de contrôle sur place sont également appelées mesure de lutte contre la pollution à la source.

Le traitement externe englobe les mesures de protection environnementale fondées principalement sur l'ajout de systèmes particuliers de protection de l'environnement au système de production, de manière à traiter les déchets de façon à améliorer la qualité des rejets dans le milieu. Ces systèmes de lutte contre la pollution sont souvent installés en dehors de l'usine, comme les clarificateurs et les systèmes de traitement secondaire. Les systèmes d'enlèvement du condensat et les appareils de contrôle des émissions de matières particulaires installés sur les chaudières d'énergie sont également des dispositifs de traitement externe, appliqués à des processus particuliers et distincts, bien que ces appareils soient installés à l'intérieur de l'usine.

Deux conceptions s'opposent, l'une prônant l'intégration totale et l'autre la séparation totale des fonctions de contrôle de l'effluent et des procédés de production. Comme exemple de la première conception, il faut mentionner l'usine "sans effluent", analysée à la section 14.5, qui ne déverse que des déchets solides et gazeux et utilise à fond la nouvelle technologie du contrôle de l'effluent dans l'usine. L'autre conception vise à optimiser l'aspect économique de la production séparée, en comptant sur un traitement externe intensif pour répondre aux critères environnementaux, et c'est elle qui est adoptée par certaines usines du sud des États-Unis. Entre ces deux extrêmes, il y a l'usine actuelle avec ses innombrables caractéristiques particulières de conception et d'exploitation visant à respecter les normes environnementales tout en maintenant au minimum les coûts et les restrictions d'exploitation.

Les modifications des procédés sur place pour contrôler la qualité de l'effluent sont généralement des solutions particulières adaptées aux conditions de l'usine. Les

orientations passées, présentes et futures des usines commandent et restreignent les choix de stratégies particulières. Des mesures internes ont toujours été utilisées dans une certaine mesure par l'industrie et sont maintenant employées de façon intensive, en raison de la pression exercée par les règlements ainsi que des progrès techniques. Par exemple, une perte de 5 p. 100 du flot de liqueur noire en circulation était chose courante il y a 30 ans, tandis que de nos jours les pertes sont réduites à moins de 1 p. 100, grâce à l'utilisation de meilleurs systèmes de lavage et de meilleures techniques d'exploitation.

14.1.1 Sources de l'effluent. - Toutes les eaux introduites dans le système de traitement, à l'exception de celles qui s'évaporent ou sont transportées avec les déchets solides ou les produits, deviennent un effluent. Les eaux de traitement sont contaminées notamment par les opérations suivantes:

- l'entraînement des produits de réaction;
- l'enlèvement des impuretés introduites avec les matières brutes;
- le rejet des produits extrêmement dégradés;
- l'inefficacité de la séparation des produits et des courants de traitement;
- la défaillance du procédé, la surcharge ou le déversement; et
- le nettoyage ou le lavage de l'équipement de traitement.

La plupart des effluents de l'industrie des pâtes et papiers proviennent de l'une ou l'autre de ces grandes catégories d'opérations.

14.1.2 Facteurs humains. - Même la conception la plus élégante de lutte contre la pollution dans une usine nécessite de l'habilité en matière de gestion, d'exploitation et d'entretien. L'attitude des employés à l'égard de la réduction de la pollution est importante. S'ils estiment que la lutte contre la pollution est la responsabilité d'autrui ou qu'elle ne peut être effectuée que par l'affectation massive de capitaux, la gestion efficace de la qualité de l'effluent devient beaucoup plus difficile et coûteuse. Dans de nombreux cas, cette attitude est encouragée par des objectifs trop optimistes associés à des méthodes et pratiques de dépollution qui se révèlent inadéquates dès la première crise de production. Les méthodes de dépollution sur place sont largement influencées par de telles attitudes, en raison de la relation directe entre les procédés de production et de contrôle de l'effluent.

Des normes réalistes, acceptables tant pour les cadres que pour les employés de l'usine, peuvent servir de fondement à l'éducation sur les conséquences environnementales

des méthodes indésirables d'exploitation et d'entretien et susciter l'adhésion des employés. Tout écart des normes établies diminuera rapidement cette adhésion et rendra donc difficile le maintien de mesures internes efficaces pour contrôler la qualité de l'effluent.

14.1.3 Recyclage et réutilisation de l'effluent. - Dans un procédé typique, il est impossible d'effectuer un recyclage convenable de l'effluent en raison de son trop grand volume. Il est souvent possible, toutefois, de recycler des eaux usées choisies à l'intérieur de l'unité de traitement. En outre, l'effluent d'une unité de traitement peut avoir une qualité telle qu'il est possible de la réutiliser dans une autre unité de traitement, en remplacement d'eau fraîche. Il arrive souvent qu'une ou plusieurs propriétés d'un effluent que l'on croirait recyclage ne soient pas compatibles avec le procédé; il convient dans ce cas de procéder à un traitement interne avant d'envisager son recyclage ou sa réutilisation. Ce traitement interne peut faire partie intégrante de l'équipement de l'usine. À l'occasion, l'opportunité et les avantages économiques poussent l'exploitant à modifier les procédés.

La qualité de l'effluent peut parfois être dégradée par une défaillance, une surcharge ou par les pratiques d'entretien du système de traitement qui entravent le recyclage et la réutilisation. La solution générale interne consiste à collecter et à stocker les effluents ainsi accidentellement produits.

De nouveaux problèmes imprévus peuvent surgir si le bilan massique et énergétique, ainsi que les réactions chimiques qui peuvent se produire lors du recyclage envisagé d'un flux de traitement, ne sont pas analysées convenablement. Il a souvent été constaté qu'un effluent sert de véhicule à un composé initialement inoffensif. Les sels solubles dont la concentration augmente, accélèrent la corrosion. Les sels modérément solubles dont la concentration dépasse les limites provoquent l'entartrage. Les modifications du pH peuvent précipiter la lignine et la résine, ou stabiliser les mousses. Les métaux lourds catalysent la réversion du degré de blancheur ou la dégradation des produits chimiques de blanchiment. L'accroissement de la concentration des matières nutritives peut accélérer les dépôts. L'huile organique ou le savon en trace peut s'accumuler dans un récipient particulier. Les températures peuvent s'élever au-dessus des limites acceptables pour un procédé particulier. Il y a cependant un aspect positif; le recyclage des effluents de traitement permet parfois de réaliser des économies considérables d'énergie et de récupérer une certaine partie de produits chimiques ou de fibres utiles. L'analyse de chaque situation particulière est essentielle pour déceler les problèmes potentiels et établir les limites pratiques du recyclage.

14.1.4 Mesures de protection environnementale dans l'usine. - Dans la plupart des cas, les analyses techniques et financières sont longues et compliquées, mais les commentaires suivants sont généralement valables.

Le coût en capital des mesures sur place équivaut grosso modo à celui des mesures externes pour réduire les matières solides en suspension, mais le système de dépollution dans l'usine consomme habituellement moins d'énergie et est moins coûteux. Il est technologiquement plus simple et moins coûteux d'appliquer des mesures de protection efficaces sur place dans les nouvelles usines ou pendant une modernisation importante que dans les installations existantes.

Dans le cas d'une nouvelle usine ou d'une modernisation importante, les mesures les plus efficaces de protection environnementale sur place sont celles qui sont prévues dans les plans et qui sont entièrement intégrées à la chaîne de production. La principale difficulté dans l'application de mesures avancées (ou l'introduction d'une nouvelle technologie) dans les nouvelles usines réside dans le fait que les plans doivent être exécutés rapidement pour éviter tout retard inacceptable dans la réalisation du projet et que toute étude technique complexe a tendance à provoquer des retards.

Dans le cas des usines ou des services actuels, les mesures les plus fructueuses de protection environnementale sur place ont été le résultat d'un plan global techniquement sain, mis en application étape par étape, de sorte que les résultats de chacune des modifications du procédé ou de l'équipement ont pu être évalués et surtout que les problèmes inévitables et imprévisibles ont pu être résolus avant d'entreprendre d'autres modifications.

Les mesures particulières suivantes de protection environnementale sur place ont été exposées dans les parties appropriées de ce rapport:

- L'écorçage à sec pour éliminer l'effluent de l'atelier de préparation du bois.
- Le recyclage de l'effluent de l'écorceuse pour réduire le volume de l'effluent.
- La récupération des rejets du tamis géant à bûchettes dans les ateliers de pâte mécanique.
- L'accroissement du recyclage des eaux blanches dans tous les types d'usine.
- L'amélioration de l'efficacité du lavage de la pâte dans les usines de kraft.
- L'utilisation de tamis sous pression au lieu de tamis ouverts pour réduire les trop-pleins de mousse.
- Les chaudières de récupération à faible émission d'odeur.
- L'amélioration de l'efficacité de combustion des chaudières alimentées par des déchets de bois pour réduire les émissions de particules de carbone ou de cendres volantes.

- L'installation de systèmes économiques de récupération de produits chimiques dans les usines au bisulfite.
- La réutilisation du filtrat de l'atelier de blanchiment.
- Le blanchiment à l'oxygène.
- Les modifications aux séquences de blanchiment pour réduire la couleur ou la DBO.

14.2 Contrôle des pertes accidentelles

14.2.1 Sources. - Les pertes accidentelles sont considérées comme des déversements dans l'environnement provoqués par des conditions anormales d'exploitation et donc comme des déversements supplémentaires à ceux qui se produisent dans le procédé normal d'exploitation. Elles sont habituellement provoquées par un mauvais fonctionnement de l'équipement ou par des erreurs humaines (y compris les erreurs des concepteurs d'usine qui n'ont pas prévu un ensemble particulier de conditions d'exploitation). Il est inévitable que certaines pertes accidentelles se produisent, puisque ni les êtres humains ni l'équipement ne sont infaillibles à 100 p. 100, il est donc essentiel d'inclure des marges de sécurité appropriées dans la planification des systèmes de protection environnementale.

Il n'existe que peu de données fiables sur l'étendue des pertes, cela est attribuable en partie à la répugnance naturelle des exploitants à parler de leurs erreurs, et également à la difficulté de mesurer les quantités réelles. Dans certaines usines ayant des cycles de traitement très précis et des pertes normales basses, les pertes accidentelles peuvent atteindre 60 p. 100 des moyennes mensuelles. La moyenne typique des pertes est probablement de 20 à 30 p. 100, sauf dans les usines ayant des déversements continuels très élevés. Dans certains cas, ces pertes accidentelles peuvent être spectaculaires et peuvent causer du tort à l'environnement ou provoquer des réactions très vives du public.

Il convient de diviser les pertes accidentelles en deux catégories, soit les déversements et les décharges. Les déversements sont dus aux débordements, aux fuites, etc. qui se produisent plus ou moins instantanément. Les décharges sont des déversements d'effluent provoqués délibérément par l'exploitant et il arrive souvent que ce dernier n'ait pas d'autre possibilité. Par exemple, si le clapet d'aspiration d'une pompe est bloqué par une planche, il peut être impossible de vider le réservoir pour éliminer la cause de l'obstruction et, dans de nombreuses usines, il n'y a pas d'autre alternative que de déverser le contenu du réservoir dans les égouts. Les décharges peuvent également être provoquées par le manque de connaissances ou de préoccupations environnementales de l'exploitant et

par le manque de planification des interruptions de traitement pour que le niveau de l'eau soit assez bas dans les réservoirs pour permettre aux employés de l'entretien d'y pénétrer.

14.2.2 Plan en vue de la réduction des pertes accidentelles. - La première chose à faire pour réduire les pertes accidentelles est de concevoir et de construire l'usine selon de bonnes méthodes techniques. Un équipement mal adapté tombe en panne relativement souvent et provoque fréquemment des pertes accidentelles dans les égouts. À l'étape de la conception, il est essentiel d'évaluer les effets de tous les genres possibles de pannes d'équipement sur l'ensemble des procédés de l'usine, car une panne dans un service provoque souvent des déversements dans d'autres. Il est possible d'obtenir des données précises sur la fréquence des pannes de tout l'équipement classique, mais les analyses de risque pour l'ensemble du système sont rarement incluses dans la conception de l'usine, faute de temps. Les systèmes de simulation du procédé, récemment mis au point, facilitent la modélisation informatique des opérations de l'usine, ce qui permet au concepteur de l'usine d'utiliser de façon efficace les connaissances accumulées sur les causes de pannes individuelles de l'équipement et d'inclure dans les plans de l'usine les dispositifs nécessaires pour contrôler les déversements.

Une capacité de stockage intermédiaire suffisante pour les produits chimiques traités et les produits partiellement manufacturés (voir la section 14.2.3) est indispensable pour réduire au minimum les pertes accidentelles.

Une bonne conception et des installations de stockage convenables suffisent habituellement à éliminer les décharges accidentelles importantes dans l'environnement. Elles sont également suffisantes pour contrôler les décharges accidentelles dans les égouts de nombreuses usines qui ont des systèmes de traitement des eaux usées de grandes dimensions. Toutefois, les usines qui désirent respecter les règlements sans procéder au traitement externe de l'effluent ou qui ont des systèmes de traitement peu importants, ont généralement des installations de récupération dans les secteurs de l'usine où les risques de déversements sont les plus grands.

Si les pertes accidentelles ne peuvent être totalement éliminées, leur fréquence peut être réduite par des raccordements systématiques entre les réservoirs, l'installation de pompes de secours et de puisards pour l'évacuation des déversements. Les nouvelles usines sont habituellement supérieures aux anciennes installations à cet égard, bien que des améliorations importantes puissent être apportées à certaines usines anciennes.

Les demandes de meilleures conditions de travail dans les années 1960 ont entraîné l'installation de gros drains dans le sol à tous les points potentiels de débordements. Malheureusement, cela a rendu moins visibles les déversements pour les exploitants et les surveillants et a donc en quelque sorte favorisé la négligence dans les méthodes d'exploitation. Récemment, plusieurs sociétés ont décidé de rendre les déversements visibles, et même parfois désagréables, en n'installant plus de drains dans le sol que pour les flux d'effluent continus. Les systèmes complexes de drainage du sol sont coûteux, de sorte que cette façon de procéder peut réduire les coûts d'immobilisations. Cela est généralement souhaitable, pour autant que cela n'entraîne pas de danger pour la santé ou ne risque pas d'endommager l'équipement.

Des réductions considérables des décharges de l'effluent peuvent souvent être réalisées par l'installation de puisards d'aspiration à des endroits clés pour récupérer les débordements et les fuites des réservoirs et de l'équipement. Dans certains cas, cette installation est effectivement possible par la séparation de certaines tranchées de plancher, qui existent dans la plupart des secteurs de traitement, et par l'acheminement de leur contenu vers le puisard d'évacuation des déversements. Toutefois, dans la plupart des cas, la contamination des matières récupérées ou la dilution excessive par l'eau de nettoyage empêche le recours à cette solution simple et une tuyauterie spéciale doit être installée.

Les matières récupérées dans le puisard doivent être renvoyées dans le système de traitement, soit directement, soit après stockage dans un bassin de collecte, selon l'analyse et la décision relative au moment le plus favorable et au meilleur endroit pour sa réutilisation. Dans certains cas, il vaut mieux déverser lentement dans les égouts les matières ainsi recueillies.

En règle générale, la majorité des déversements et des décharges se produisent dans des secteurs relativement restreints de l'usine et c'est normalement dans ces secteurs clés que les systèmes de récupération des pertes accidentelles peuvent être efficaces. Le tableau 23 énumère les secteurs où ces systèmes de récupération sont normalement installés, ainsi que les points les plus courants de réintroduction dans le procédé.

Les déversements d'eau blanche sont caractérisés par des volumes élevés et une teneur relativement faible en matières solides en suspension. Il est souvent peu pratique d'installer une capacité suffisante de stockage pour contenir les déversements importants d'eau blanche, mais les décharges de matières solides en suspension peuvent être réduites

TABLEAU 23 SYSTÈMES DE RÉCUPÉRATION DES PERTES ACCIDENTELLES

Service de l'usine	Type de perte	Point de réintroduction dans le procédé
Pâte mécanique	Pâte	Canal à défibrer
PTM	Pâte	Caisse de stockage temporaire
Kraft	Pâte non lavée	Réservoir de décharge
Kraft	Pâte lavée	Épurateurs
Kraft	Liqueur noire	Stockage de la liqueur noire diluée
Kraft	Pâte partiellement blanchie	En amont de l'atelier de blanchiment
Pâte au sulfite	Pâte	Fosses de décharge
Pâte au sulfite	Liqueur rouge	Stockage de la liqueur rouge diluée
Usine de papier	Pâte	Cuvier de mélange

en veillant, dans le cas d'un excès d'eau blanche, à ce que l'eau déversée dans les égouts ait une teneur en matières solides en suspension la moins élevée possible. Cela nécessite une instrumentation et des méthodes d'exploitation bien définies.

La conception des systèmes de récupération et de prévention des pertes accidentelles est particulière à chaque emplacement, surtout en ce qui concerne le choix du point de réintroduction des matières récupérées dans le procédé.

14.2.3 Stockage des produits intermédiaires et des produits chimiques. - Idéalement, une usine de pâtes et papiers devrait fonctionner sans interruption, et le taux de production devrait être équilibré entre tous les services pour répondre aux besoins réciproques. En fait, cela est cependant irréalisable en raison des problèmes imprévisibles d'équipement de même que de la nécessité d'interrompre certains services (par exemple pour un poste de travail de huit heures) pour l'entretien périodique. Un certain stockage est donc nécessaire entre chaque service principal et l'adéquation de ce stockage a un impact sur les pertes accidentelles. Le stockage est également nécessaire pour la plupart des matières achetées par l'usine, mais cela n'a que peu d'impact sur les pertes accidentelles et cette question n'est donc pas abordée ici.

En principe, les usines qui ont des installations de traitement de l'effluent de grandes dimensions peuvent respecter les règlements sur la qualité de l'effluent, même si leurs capacités de stockage sont insuffisantes. Toutefois, il existe des contraintes

pratiques et économiques concernant le volume du déversement qui peut être efficacement traité par un système de traitement des eaux usées. Un compromis technique et économique entre le stockage, la prévention des pertes accidentelles et les installations de traitement de l'effluent est donc nécessaire dans toutes les usines.

Toutes les usines ayant des cycles de traitement très fermés pour réduire les décharges d'effluent, doivent avoir une capacité de stockage suffisante pour permettre au personnel de déceler les problèmes et de prendre les mesures correctives appropriées avant que ne survienne un déversement majeur. Cela nécessite généralement des capacités de stockage proches des capacités supérieures mentionnées ci-dessous.

Il n'y a aucune méthode mathématique absolue pour le choix de la taille et de l'emplacement des réservoirs de stockage du procédé intermédiaire, mais les critères suivants sont généralement incorporés dans la conception des usines modernes.

Usines de kraft

- Une capacité de stockage de 8 à 24 heures pour la pâte écrue lavée, habituellement de "densité élevée" (une consistance d'environ 12 p. 100).
- Une capacité de stockage de 8 à 24 heures pour la liqueur noire diluée et la liqueur noire concentrée.
- Une capacité de stockage de 24 heures pour la lessive blanche (dont une partie peut se trouver dans le clarificateur de lessive blanche).
- Une capacité de stockage de 12 heures pour la liqueur diluée (dont une partie peut se trouver dans le laveur de boues de chaux).
- Un stockage d'au moins 24 heures pour la pâte blanchie, normalement à une "densité élevée". La capacité de stockage est plus importante en règle générale lorsqu'une installation complexe comme une fabrique de papier se trouve immédiatement après l'atelier de blanchiment au lieu du séchoir de pâte relativement simple.

Usines de papier journal et autres usines intégrées - Le principal espace de stockage est réservé pour la pâte, en amont de la fabrique de papier, et cet espace a habituellement une capacité de stockage de 12 à 24 heures. L'opération de blanchiment dans les fabriques de pâte mécanique est beaucoup plus simple que dans les usines de pâte chimique, de sorte que le stockage entre la fabrication et le blanchiment n'est habituellement pas nécessaire pour des raisons environnementales. Un stockage de plusieurs heures entre les défibreurs

et les ateliers de tamisage serait souhaitable, mais cela est normalement peu pratique puisque la concentration de la pâte n'est que d'environ 1 p. 100 et de très grandes capacités seraient nécessaires.

Usines de pâte au sulfite avec récupération chimique - Des capacités de stockage semblables à celles des usines de kraft s'appliquent dans ce cas, sauf qu'une forte capacité de stockage pour la liqueur rouge diluée et concentrée est même encore plus nécessaire, en raison du peu de fiabilité des évaporateurs de sulfite.

Usines de pâte mi-chimique - Elles sont normalement intégrées aux usines de papier (habituellement à papier ondulé) et la simplicité relative de ces procédés rend le stockage de la pâte moins nécessaire. Une capacité de stockage de 12 heures entre la fabrication de la pâte et du papier peut être considérée comme largement suffisante pour la protection de l'environnement.

Eau blanche - Une certaine capacité de stockage d'eau blanche est nécessaire dans toutes les usines pour minimiser les déversements dans les égouts, en raison des déséquilibres intermittents de l'exploitation. Les besoins locaux varient énormément, mais environ 1 m^3 par tonne de production quotidienne suffit généralement.

14.2.4 Méthodes d'exploitation et d'entretien. - Une grande partie des mesures nécessaires pour contrôler les pertes accidentelles peuvent être considérées comme de bonnes mesures d'entretien, puisque de nombreux déversements sont attribuables à de simples erreurs relativement faciles à éviter. La technique la plus avancée et l'équipement le plus perfectionné sont inefficaces s'ils sont mal exploités ou mal entretenus.

Les méthodes d'exploitation et la formation ont une répercussion importante sur tous les aspects de l'exploitation de l'usine, mais il faut faire particulièrement attention au contrôle des pertes accidentelles. Traditionnellement, la formation des opérateurs dans l'industrie des pâtes et papiers a reposé en grande partie sur les manuels d'exploitation fournis par les fournisseurs d'équipement. Alors que cette méthode peut être efficace pour atteindre les niveaux de production voulus et répondre aux particularités de la qualité du produit, elle l'est moins pour le contrôle des pertes accidentelles, qu'elles soient importantes ou non du point de vue environnemental. Le contrôle de ces pertes nécessite

une évaluation du système de traitement global, ainsi qu'une étude du genre de matières qui devraient ou non être déversées dans les égouts et une analyse des méthodes à suivre en cas de difficultés imprévues.

La formation du personnel nécessite un manuel et un programme de formation précis, conçus par des professionnels qui connaissent bien le procédé et les questions de protection environnementale. Une formation distincte est nécessaire pour les opérateurs qui travaillent par poste, les superviseurs des opérations et le personnel d'entretien. Certains producteurs de pâtes et papiers ont acquis cette expérience sur le tas, tandis que d'autres préfèrent retenir les services de firmes extérieures de consultants pour préparer ces manuels et ces programmes de formation.

14.3 Traitement des condensats contaminés

Une caractéristique inhérente au procédé de fabrication de pâte kraft est que les condensats contaminés et toxiques ayant une DBO élevée sont produits dans les secteurs du lessiveur et de l'évaporateur comme le montrent les figures 13, 14, 18 et 30. Ces liquides, qui sont souvent appelés également condensats résiduaires, ou à l'occasion, condensats unitaires, condensats de condenseur de surface ou sous-écoulement du décanteur de térébenthine, sont souvent séparés de l'effluent de l'usine et traités séparément.

14.3.1 Propriétés du condensat. - Dans les usines de pâte kraft, les condensats contaminés contiennent de 8 à 15 kg DBO/t de pâte. La DBO provient des alcools, des cétones, des terpènes, des phénols, de la résine et des acides gras, ainsi que des composés de soufre total réduit (STR). Le méthanol est le facteur le plus important dans la charge de DBO.

Les valeurs signalées de la CL_{50} - 96 heures (concentration létale pour 50 p. 100 des organismes d'essai) des condensats contaminés vont de 0,04 p. 100 à 17 p. 100, les poissons servant d'organismes d'essai. Une grande partie des composés du condensats contaminés, comme les composés de STR, la résine et les acides gras, présentent une toxicité létale à des concentrations bien inférieures à celles des condensats contaminés. Il semble que les composés de STR soient le facteur dominant dans la toxicité du condensat contaminé.

Certains travailleurs ont laissé entendre que l'importance des composés de STR dans la toxicité de l'effluent de l'usine de kraft est mineure, en supposant que ces composés sont rapidement oxydés ou dégradés par l'air dans le réseau d'égouts de l'usine et

dans les eaux réceptrices. Toutefois, plusieurs autres chercheurs ont conclu que ces condensats représentent de 20 à 50 p. 100 de la toxicité de l'effluent de l'usine kraft. La grande variation des données est au moins attribuable en partie à la difficulté qu'il y a de séparer le véritable condensat de l'entraînement de liqueur noire.

On a découvert que les condensats contaminés ayant des concentrations dans l'eau de 0,2 à 2 p. 100 teintaient le poisson. Les composés responsables ne sont pas définitivement identifiés, mais des composés phénoliques et de STR en sont vraisemblablement les principaux responsables.

Le seuil de détection est considéré comme la concentration décelable la plus faible. En règle générale, cela représente les limites pratiques inférieures de la technique d'analyse ou instrumentale. Dans le cas de qualités subjectives comme le goût et l'odeur, elles sont établies par un jury. Les seuils mesurés de la détection des odeurs des condensats contaminés dans l'eau varient de 0,5 à 60 ppm, et les seuils de détection du goût des condensats contaminés dans l'eau, de 40 à 200 ppm. Les composés de STR sont généralement considérés comme la principale source d'odeur et de goût des eaux.

Les condensats contaminés contiennent environ 0,3 kg de STR (exprimé en S) par tonne de pâte. Comme certains composés du STR des condensats sont éliminés dans les bassins d'aération, les condensats contaminés des eaux usées peuvent représenter une source importante d'odeurs dans un système de traitement biologique. Lorsque les eaux usées contenant des condensats contaminés ne sont pas confinées, des problèmes de santé occasionnels peuvent se produire en raison de la teneur élevée en composés de STR de l'air du lieu de travail.

Les condensats contaminés représentent un faible pourcentage du volume total de l'effluent de l'usine. Par conséquent, ils peuvent être considérés comme des déchets à faible volume mais à concentration élevée, qui se prêtent logiquement à un traitement sélectif.

14.3.2 Séparation du condensat. - Par la séparation appropriée des condensats contaminés, il devrait être possible d'isoler environ 3 m^3/t de pâte de condensat pour le traitement sélectif. Ce condensat isolé comprendrait le condensat contaminé du lessiveur et les condensats plus contaminés de l'évaporateur à effets multiples. Dans le cas d'un lessiveur en continu, le condensat contaminé provient du condenseur éclair à la vapeur (souvent connu sous le nom de sous-écoulement du décanteur de térébenthine, voir la figure 13). Dans le cas d'un lessiveur en discontinu, les condensats contaminés proviennent de l'évent et du soufflage (voir figure 14). Les condensats très contaminés de l'évaporateur

comprennent ceux du système sous vide ou du réservoir de condensat, du condenseur de surface et de l'évaporateur au cours de la première et probablement de la deuxième étape (le premier étant celui par lequel entre la liqueur noire diluée), où la concentration initiale de la liqueur se produit. Les 3 m^3/t de pâte séparée devraient contenir environ 90 p. 100 de la charge totale de DBO et de méthanol et environ 99 p. 100 de la charge de STR. Les concentrations caractéristiques des composés importants des condensats contaminés séparés sont présentées au tableau 24.

TABLEAU 24 COMPOSANTS DES CONDENSATS CONTAMINÉS SÉPARÉS

Composants	Concentration (mg/l)	Quantité réelle (kg/t de pâte)
STR (exprimé en S)	100	0,3
Méthanol	3000	9,0
Éthanol	170	0,5
Acétone	130	0,4
Méthyléthylcétone	50	0,15
Gaïacol	30	0,1
Terpènes	650	3,0

14.3.3 Procédés de traitement. - Plusieurs méthodes ont été mises au point pour le traitement sélectif des condensats contaminés, notamment:

a) l'extraction au gaz de carneau, à l'air ou à la vapeur;
b) l'absorption au charbon;
c) l'oxydation chimique par le chlore ou l'oxygène;
d) l'oxydation biologique sélective dans un bassin d'aération, un système d'activation des boues ou sur un lit percolateur fermé composé de morceaux d'écorce;
e) l'irrigation par vaporisation; et
f) la précipitation chimique.

L'extraction est habituellement la méthode généralement acceptée de traitement sélectif et il semble qu'il en sera ainsi pour longtemps encore. Les systèmes d'extraction sont habituellement exploités soit pour enlever les composés de STR, soit pour éliminer les composés de STR et le méthanol.

En règle générale, l'extraction à elle seule des composés de STR réduit la toxicité des condensats contaminés, leur potentiel de génération d'odeur et leur propension à teinter les poissons. L'élimination du STR sert également à réduire les émissions nauséabondes.

Cette méthode a pour effet supplémentaire de réduire de façon considérable la charge de DBO de l'usine. En outre, puisque les phénols et les acides résineux peuvent être éliminés simultanément, la toxicité et la propension à teinter les poissons des condensats contaminés peuvent être réduites dans une grande mesure, grâce à l'extraction du seul STR. Essentiellement, deux types de systèmes d'extraction du condensat sont utilisés: la vapeur et l'air.

Les dispositifs traditionnels d'extraction de la vapeur sont en réalité des colonnes de distillation, tandis qu'une section d'extraction est située dans la partie inférieure et qu'une autre, de rectification ou d'enrichissement, est située dans la partie supérieure. Par conséquent, il existe un condenseur aérien et presque toute la partie supérieure de la colonne est refoulée vers la colonne sous forme de liquide. Les matières séparées sont extraites sous forme de petits écoulements latéraux de condenseur aérien, habituellement sous forme de gaz. Les concentrations des impuretés dans cette partie sont élevées, et habituellement elles comptent pour plus de 50 p. 100 du volume. Cette matière est habituellement éliminée par incinération. Un organigramme caractéristique est présenté à la figure 39.

Les extracteurs à la vapeur fonctionnent habituellement à un taux de 5 ou 20 p. 100 de vapeur appliquée pour les condensats contaminés. Le taux de 5 p. 100 élimine le STR, mais presque pas de DBO, et un taux de 20 p. 100 élimine presque tout le STR et presque toute la DBO. Un extracteur à la vapeur peut être conçu pour fonctionner soit à l'aide de vapeur fraîche ou de vapeur de traitement convenable comme dans le cas de l'intégration à des évaporateurs à effets multiples. Pour le fonctionnement à 20 p. 100 de vapeur fraîche, le coût de la vapeur d'extraction est d'environ 7 $ la tonne séchée à l'air, compte tenu d'un coût différentiel de la vapeur de 12 $ par 1000 kg, caractéristique de 1983, et d'un crédit pour la chaleur fournie au condensat extrait et pour l'eau de refroidissement du condenseur aérien. Toutefois, dans une usine efficace du point de vue énergétique, la majeure partie de cette eau chaude peut être inutile et par conséquent sans valeur, de sorte que le coût réel de l'énergie peut être deux fois plus élevé. Un autre facteur qui compense le coût de la vapeur est la valeur thermique du gaz séparé, mais c'est une valeur relativement mineure en pratique.

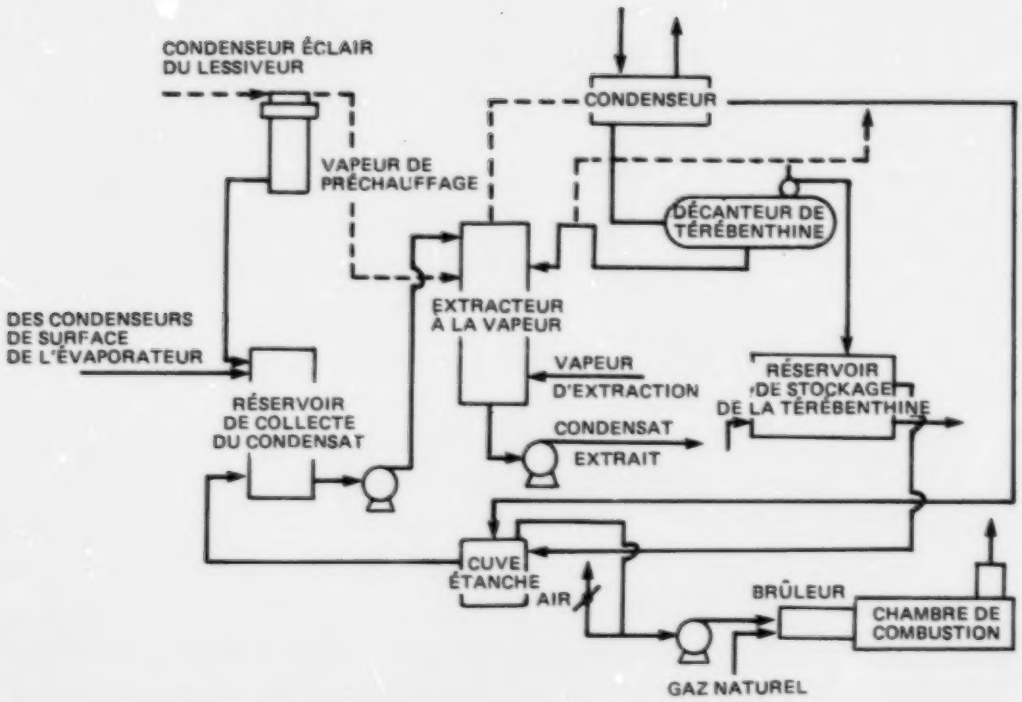

FIGURE 39 Schéma de l'extraction à la vapeur

Le coût d'équipement installé d'un système de séparation de vapeur, incluant la tuyauterie nécessaire, les réservoirs et l'instrumentation, s'élève à environ 1 500 000 $. Si l'extracteur est intégré aux évaporateurs, des coûts supplémentaires sont prévus pour l'augmentation de la capacité des évaporateurs afin de fournir une plus grande surface de transfert de la chaleur. Par l'intégration d'un extracteur à la vapeur aux évaporateurs à effets multiples, la consommation de la vapeur est considérablement réduite, mais non éliminée, en raison de la réduction de l'efficacité des évaporateurs.

Bien que les coûts d'exploitation du système intégré d'extraction à la vapeur soient plus intéressants que ceux d'un système à vapeur fraîche, ce procédé est encore peu répandu. En effet, les évaporateurs de nombreuses usines actuelles ne disposent pas de 7 ou 8 p. 100 de capacité d'évaporation en excès; dans ces usines, l'extraction intégrée ne devrait pas être envisagée à moins que les évaporateurs ne soient agrandis. En outre, on craint quelque peu de compliquer et d'entraver l'exploitation de l'évaporateur qui est déjà difficile à utiliser. Un extracteur intégré présente un autre problème puisqu'il ne peut être

utilisé que lorsque l'évaporateur fonctionne, ce qui risque d'être peu pratique, puisque les lessiveurs peuvent fonctionner pendant 24 heures au maximum (en produisant un condensat contaminé), pendant l'arrêt des évaporateurs.

Les extracteurs à l'air sont moins courants que les extracteurs à la vapeur, mais un certain nombre ont été installés. Ils sont habituellement construits sous forme de tours compactes dont le débit d'air circule à contre-courant de l'écoulement du condensat (voir figure 40). Ils peuvent éliminer jusqu'à 98 p. 100 du STR et la majeure partie de la toxicité du condensat, mais ils n'éliminent qu'environ 30 p. 100 de la DBO. Toutefois, le condensat extrait est généralement assez propre pour être utilisé dans l'évent du bassin de dissolution et les laveurs de l'évent du four à chaux où une grande partie du méthanol résiduel est éliminée, ce qui donne une efficacité globale d'élimination de la DBO d'environ 80 p. 100 pour un système bien conçu.

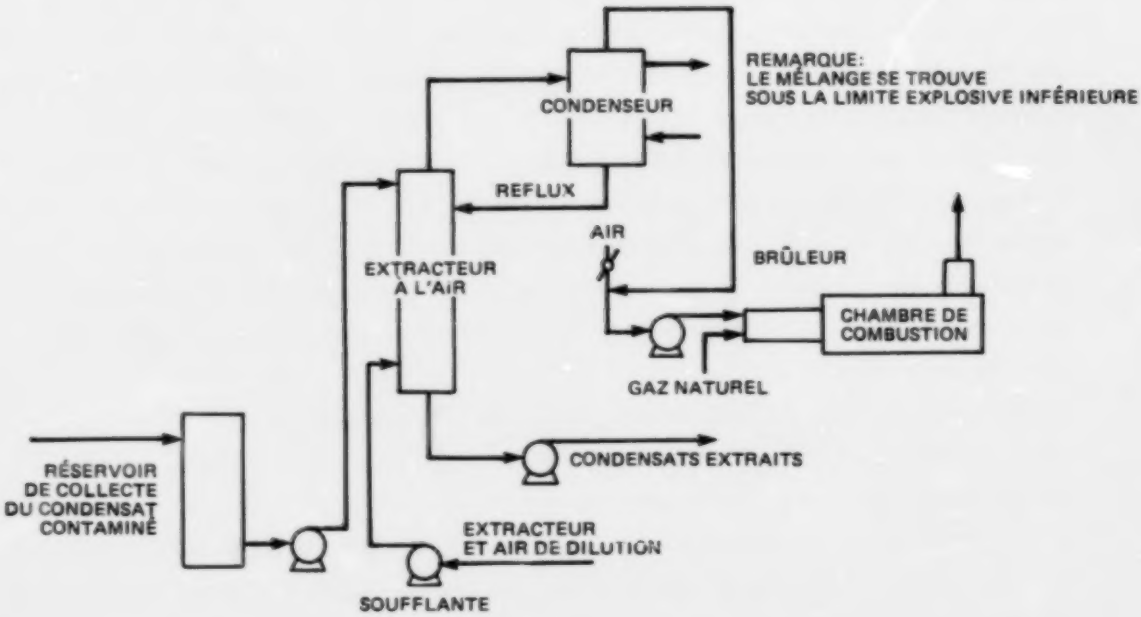

FIGURE 40 Schéma de l'extraction à l'air

Dans les usines de kraft qui cherchent à respecter les règlements de la qualité de l'effluent sans traitement biologique externe, la séparation du condensat est habituellement essentielle. Dans la plupart des usines pratiquant le traitement biologique,

il est habituellement plus rentable de traiter le condensat dans le système biologique en même temps que l'effluent de l'usine. Toutefois, l'extraction peut être nécessaire pour réduire l'odeur provenant du système de traitement biologique.

Dans certains cas, l'extraction peut être plus rentable que l'agrandissement d'un système surchargé de traitement de l'effluent.

14.4 Élimination des gaz non condensables dans les usines de kraft

Les gaz non condensables sont extrêmement nauséabonds et sont habituellement la principale source de l'odeur caractéristique des usines de kraft. L'expression "gaz non condensables" s'applique aux gaz émis par les procédés de préparation de la pâte et de l'évaporation de la liqueur noire, comme l'indiquent les figures 13, 14, 18, 30 et 31. Ils consistent en un mélange de terpènes, de composés de STR et de méthanol, de même que de diverses matières organiques moins importantes. À vrai dire, ces gaz sont tous condensables, mais le terme ci-dessus est universellement utilisé pour les distinguer des vapeurs qui se condensent dans l'évent d'échappement, l'évent de récupération de la chaleur soufflée et le système d'extraction des gaz non condensables de l'évaporateur, dans des conditions normales d'exploitation.

Les gaz non condensables sont des sous-produits du lessivage de la pâte kraft et bien que la quantité produite varie selon les espèces et la sulfidité du bois, une réduction importante par la modification du procédé n'est pas praticable. Le STR est le composé le plus important du point de vue environnemental; la plupart des recherches ont été centrées sur la réduction ou l'élimination du STR et presque toutes les données disponibles portent sur le STR.

Les données publiées sur la quantité de STR produite par le procédé kraft varient d'environ 0,2 kg/t à 3 kg/t de pâte. Les valeurs inférieures sont probablement dues à des erreurs expérimentales, puisqu'une grande partie des premiers travaux sur le terrain utilisait des techniques analytiques qui sont maintenant reconnues pour leur inexactitude. Le taux véritable de production de STR dans les usines de kraft est probablement de l'ordre de 2 kg/t de pâte. Quoi qu'il en soit, la quantité exacte a peu d'importance, puisque les règlements actuels exigent tous l'élimination à 100 p. 100 de ces gaz des sources dont il est question ici, et les systèmes de traitement sont toujours conçus de manière à disposer d'une importante marge de capacité pour des raisons de sécurité.

Bien que la quantité totale de gaz de STR produite par tonne de pâte soit relativement constante, les quantités émises à divers points varient de façon constante, les quantités émises à divers points varient de façon considérable. Dans le cas des

lessiveurs en discontinu, une grande partie du gaz est séparée de la pâte lorsque le lessiveur subit le soufflage et la majeure partie des résidus sort par l'évent de l'évaporateur. Dans le cas des lessiveurs en continu, au moins 0,3 kg/t de pâte est émis par les évents du laveur de pâte écrue, sous une forme plutôt diluée. Si des laveurs à diffusion continue sont utilisés, la majeure partie du STR restera dans la liqueur noire et sera émise par l'évent de l'évaporateur.

Dans les lessiveurs en discontinu, les gaz non condensables sont évacués en même temps que de grandes quantités de vapeur. Le système de récupération de la chaleur de soufflage devrait être équipé pour condenser cette vapeur, mais la plupart des anciens systèmes sont mal conçus. Il est impossible d'installer un système efficace de collecte et d'incinération des gaz non condensables dans de tels cas sans d'abord rectifier les inexactitudes du système de récupération de la chaleur de soufflage, ce qui nécessite souvent un remplacement total dont le coût s'élève à au moins 1 million de dollars.

Certains systèmes d'incinération des gaz non condensables du lessiveur en discontinu utilisent une cheminée d'équilibre, mais ceux-ci ont été remplacés en règle générale par des techniques dont la conception tient compte de la circulation variable des gaz des systèmes discontinus.

La seule façon prouvée d'éliminer ces gaz consiste à les incinérer et c'est ce que font un certain nombre d'usines. Les gaz de STR et les autres gaz non condensables qui les accompagnent inévitablement sont explosifs lorsqu'ils sont mélangés à l'air et des mesures strictes de sécurité doivent être conçues et observées pendant l'exploitation de l'équipement. Cette technique est maintenant suffisamment connue pour ramener les dangers à un niveau semblable à celui de tout autre équipement industriel.

Dans certains cas, les gaz non condensables sont incinérés dans un incinérateur approprié, ce qui est efficace mais qui nécessite habituellement du combustible d'appoint pour maintenir la combustion. Dans la plupart des installations les plus récentes, on incinère ces gaz dans le four à chaux, la chaudière de production d'énergie ou la chaudière de récupération. N'importe lequel de ces systèmes oxydera entièrement le STR pour le transformer en dioxyde de soufre, éliminant ainsi les odeurs. La quantité de dioxyde de soufre produit est négligeable comparée à celle qui est produite par la combustion du pétrole ou du charbon.

Autrefois, on utilisait des laveurs pour traiter les gaz non condensables. Ceux-ci peuvent être très efficaces pour éliminer le sulfure d'hydrogène, mais leur efficacité pour l'élimination des autres gaz de STR est faible (moins de 50 p. 100). Ils sont utilisés

fréquemment dans les installations modernes pour récupérer le soufre du système de fabrication de pâte et pour éliminer les terpènes, etc., des gaz non condensables, par souci de sécurité, avant l'incinération.

14.5 Usine de pâte kraft blanchie en cycle fermé Rapson-Reeve

Au chapitre 7, consacré au blanchiment de la pâte kraft, il a été souligné que l'effluent de l'atelier de blanchiment est une source principale de DBO et de toxicité dans une usine de kraft et que ces effluents ne peuvent être recyclés dans le procédé si on utilise les techniques traditionnelles. Pour régler ce problème, MM. Rapson et Reeve ont mis au point une technique de construction d'une usine de kraft blanchie à cycle fermé décrite dans de nombreuses publications. La figure 41 illustre le concept du procédé.

Jusqu'à présent, il n'y a que l'usine de la Great Lake Forest Products Co., de Thunder Bay, en Ontario, qui a été conçue et construite de manière à utiliser ce procédé. Comme c'est la première usine de ce genre dans le monde et qu'elle produit et vend de la pâte depuis son démarrage en 1977, on peut considérer qu'il s'agit d'un succès, bien qu'une certaine forme d'effluent contaminé soit encore déversée et qu'aucune autre usine n'ait adopté ce procédé au moment de la rédaction de cet exposé. Les caractéristiques de base du procédé pourraient être mises en oeuvre de plusieurs façons et une étape de blanchiment à l'oxygène pourrait être incorporée, au besoin, pour réduire la charge de chlore en circulation. Des variations des systèmes de traitement du condensat contaminé de la pâte kraft, décrites à la section 14.2, pourraient être incorporées dans ce concept.

Le système de la Great Lakes peut être décrit comme suit:

a) remplacement à 70 p. 100 du chlore par du dioxyde de chlore au cours de la première étape de blanchiment
b) lavage à contre-courant dans l'atelier de blanchiment
c) apport externe minime d'eau dans l'atelier de blanchiment
d) utilisation d'un procédé de récupération des sels pour éliminer le chlorure de sodium de la liqueur blanche
e) utilisation du ERCO R-3 ou d'un procédé semblable pour produire du dioxyde de chlore
f) utilisation d'un extracteur du courant pour traiter les condensats des évaporateurs
g) contrôle des déversements

Le remplacement du chlore par le dioxyde de chlore au premier stade du blanchiment réduit la quantité d'ions chlorure produits au cours de cette opération et par

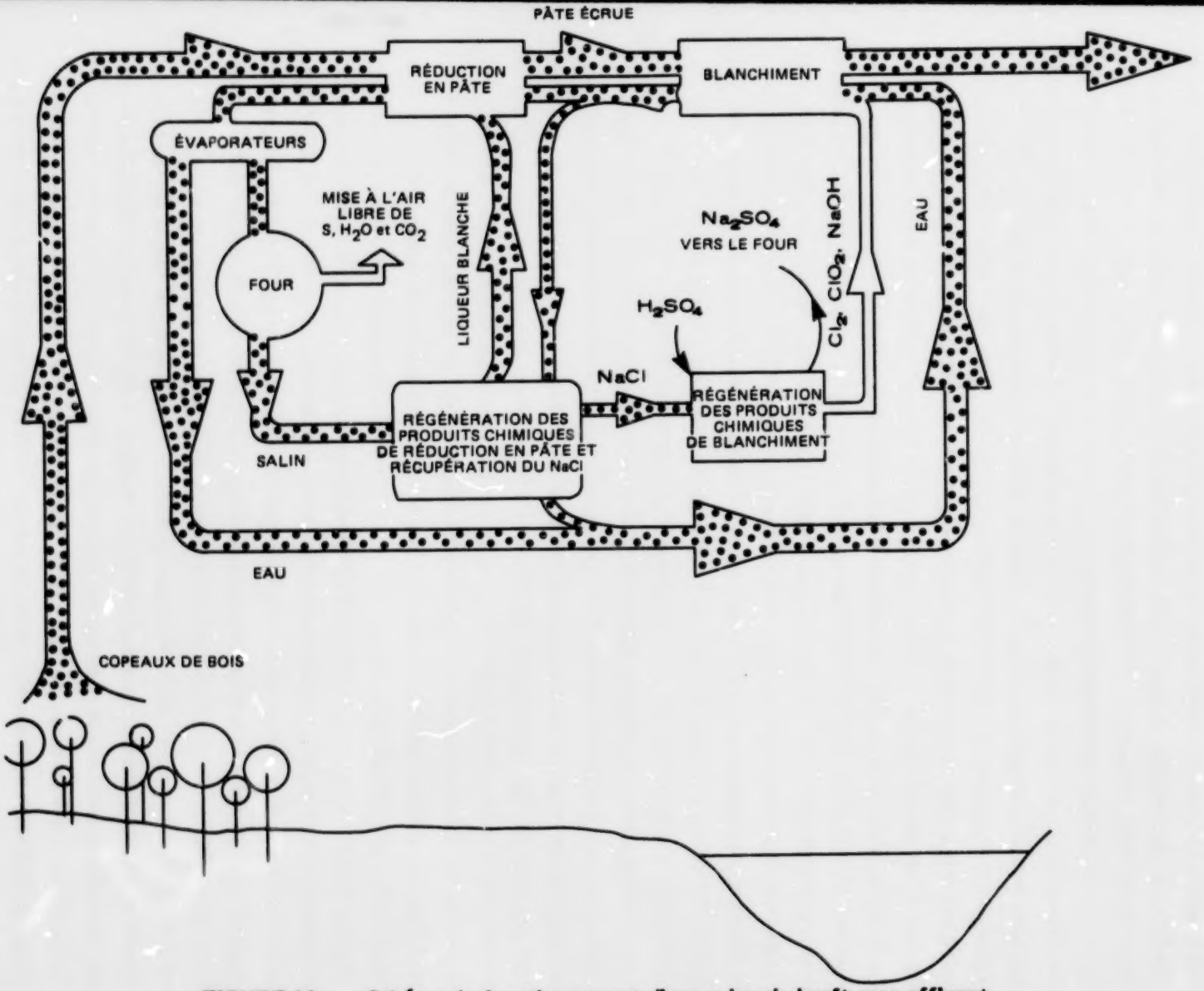

FIGURE 41 Schéma du fonctionnement d'une usine de kraft sans effluent

conséquent, la quantité d'ions sodium (provenant de l'hydroxyde de sodium) nécessaire pour produire le chlorure de sodium. Cela produit beaucoup moins de chlorure de sodium au cours du cycle de récupération et dans l'atelier de récupération des sels.

Un lavage entièrement à contre-courant est nécessaire dans l'atelier de blanchiment, du deuxième stade au bioxyde de chlore jusqu'au premier stade d'extraction. Les rinceurs du laveur en courant continu sont à contre-courant du premier stade d'extraction (appliqués en dernier au matelas de pâte) et de la première étape au dioxyde de chlore (appliqués en premier au matelas de pâte). Aucune eau de lavage externe n'est fournie à un laveur de pâte. Cela signifie que les apports d'eau de source externe à l'atelier de blanchiment sont également maintenus à un niveau minimum afin que le volume total de l'eau usée soit suffisamment faible et qu'il puisse être réutilisé au cours du cycle de récupération. Aucune eau de source externe n'est ajoutée régulièrement aux réservoirs étanches, sauf pour en maintenir le niveau. Une racle pneumatique pour l'extraction de la pâte est utilisée avec des rinceurs de la toile mécanique à haute pression et à faible volume, actionnés par minuterie et placés sur les laveurs, au lieu de rinceurs à racle hydraulique. Le filtrat du deuxième stade d'extraction est utilisé pour diluer la concentration de l'hydroxyde de sodium de 50 à 13 p. 100 pour l'atelier de blanchiment.

La recirculation des filtrats de l'atelier de blanchiment dans le cycle de récupération provoque l'introduction de chlorure de sodium comme charge morte inerte dans le système. Le chlorure de sodium doit être éliminé à la même vitesse qu'il est introduit en vue de prévenir l'entartrage. Le procédé de récupération du sel est utilisé à cette fin; le sel sous-produit est utilisé comme chlorure de sodium pour alimenter le générateur de dioxyde de chlore et il n'est jamais déversé dans les eaux usées.

Le procédé ERCO R-3 produit du dioxyde de chlore à l'aide de chlorate de sodium, d'acide sulfurique et de chlorure de sodium utilisés comme matières brutes. Le dioxyde de chlore et le chlore sont des gaz; ils passent dans un absorbeur à eau froide qui dissout le dioxyde de chlore et une certaine partie du chlore. Le gaz libéré de l'absorbeur passe dans un laveur à sonde caustique et de l'hypochlorite de sodium est produit à partir du reste du chlore. Ce procédé produit également du sulfate de sodium, qui est éliminé du générateur par filtration dans un appareil distinct. Une certaine partie du sulfate de sodium est utilisée comme produit chimique d'appoint dans le cycle de récupération de kraft et le reste est déversé dans les eaux usées.

Une importante partie de la DBO, du soufre total réduit et de la toxicité de la charge de l'effluent de l'usine est produite par les condensats de la liqueur noire. En raison

du cycle presque sans pertes de l'eau dans le procédé à cycle fermé, il n'est pas possible de recirculer tous ces condensats dans le cycle de l'eau. Un extracteur du courant est utilisé pour réduire les charges de l'effluent de ces condensats.

14.6 Importance de la demande chimique en oxygène

La DBO a été pendant longtemps le critère le plus universellement utilisé pour la définition de la qualité des eaux usées en Amérique du Nord. La demande chimique en oxygène, couramment appelée DCO, est utilisée comme mesure optionnelle de la demande en oxygène des eaux usées, surtout en Europe de l'Est.

Certains travailleurs ont suggéré de remplacer la DBO par le DCO à des fins réglementaires et de contrôle puisqu'ils soutiennent habituellement que sa méthode analytique est plus précise que celle qui est utilisée pour établir la DBO. Il n'y a pas de doute que les mesures de la DCO sont plus uniformes et que ses méthodes sont également plus adaptables aux techniques automatiques de laboratoire. L'analyse de la DCO comporte un autre avantage, puisqu'elle peut être effectuée en quelques heures, de sorte que les résultats des essais peuvent être disponibles le jour même du prélèvement d'échantillons de l'effluent, tandis que l'essai de la DBO, par définition, nécessite 5 jours.

L'analyse de la DBO est basée sur une simulation en laboratoire, aussi grossière soit-elle, des réactions qui se produiront lorsque l'effluent sera déchargé dans les eaux réceptrices, tandis que les conditions de l'analyse de la DCO n'ont aucun rapport avec celles de tout cours d'eau récepteur.

Un certain nombre de chercheurs ont essayé d'établir une corrélation entre la DBO des effluents des usines de pâte et la DCO, surtout pour permettre une prévision plus rapide de la DBO qu'il n'est possible de l'obtenir par l'analyse standard de la DBO. Les corrélations obtenues n'étaient pas suffisamment précises pour être utiles, même lorsqu'elles portaient uniquement sur des cours d'eau précis. En règle générale, on peut dire que les effluents ayant une DCO élevée ont également tendance à avoir une DBO élevée, mais il n'y aucune relation quantitative utile entre les deux.

14.7 Autres installations de liqueur au sulfite résiduelle

Plusieurs obstacles d'ordre technique et économique empêchent la récupération des produits chimiques et de l'énergie des liqueurs au sulfite résiduelles provenant de la réduction du bois en pâte par des procédés semblables à celui de la récupération traditionnelle de kraft, bien que des quantités considérables de produits chimiques pouvant être utiles se trouvent dans tous les types de liqueur résiduelle au sulfite. Cela a suscité

des recherches étendues sur les utilisations possibles de ces liqueurs, en partie pour des raisons économiques et en partie en réaction aux pressions exercées pour que les décharges de DBO dans l'environnement soient plus faibles.

Les quelques systèmes d'exploitation commerciale qui utilisent la liqueur au sulfite résiduelle pour la fabrication de sous-produits sont généralement basés sur des procédés de réduction en pâte à faible rendement, puisque ceux-ci produisent une plus forte quantité de produits chimiques organiques. Toutefois, les principaux problèmes d'élimination de la liqueur au sulfite résiduelle au Canada se trouvent dans de petites usines de pâte au sulfite à rendement élevé, intégrées aux usines de papier journal. Les principales usines de pâte au sulfite utilisent des méthodes classiques de récupération et elles n'ont donc pas besoin d'envisager d'autres utilisations de la liqueur au sulfite résiduelle pour des raisons environnementales.

En raison de la diversité des produits chimiques qui se trouvent dans la liqueur au sulfite résiduelle, il n'est pas surprenant qu'il y ait eu de nombreuses propositions pour la fabrication de sous-produits. Plus de 2000 brevets dans ce domaine ont été signalés dans la documentation, mais il est surprenant de constater que les ateliers de sous-produits sont rares dans les usines au sulfite.

Diverses matières utiles ont été préparées à l'aide de la liqueur au sulfite résiduelle, mais dans la plupart des cas, des investissements importants sont nécessaires pour les mettre en marché, et le risque de concurrence par d'autres usines sera grand lorsque le chiffre d'affaires aura atteint des niveaux viables, de sorte que très peu d'usines de sous-produits exploitées à l'échelle commerciale ont été construites jusqu'à ce jour.

Plusieurs usines produisent de l'alcool à partir de la fermentation de la liqueur au sulfite résiduelle, mais il s'agit de petites usines; il est généralement moins coûteux de produire de l'alcool à partir d'autres matières. La teneur en alcool de la liqueur provenant de la mise en pâte avec un rendement de 75 p. 100 est d'environ 1/5 de celle du procédé à rendement de 48 p. 100. La réduction de la DBO qu'il est possible d'obtenir par la production d'alcool à partir d'une liqueur à haut rendement est probablement inférieure à 12 kg/t de pâte, de sorte qu'elle est de peu d'importance, pour ce qui est de la protection environnementale. Le bilan énergétique des ateliers d'alcool dans les usines de pâte au sulfite, peu importe la production, est habituellement déficitaire, de sorte qu'il faudrait des prix de beaucoup supérieurs à la valeur de l'alcool comme combustible pour qu'un atelier d'alcool soit viable.

La vaniline et d'autres sous-produits sont fabriqués par une usine canadienne, mais l'exiguïté du marché actuel limite les autres applications de ce type. Les principales

réductions de la DBO et la toxicité de l'effluent obtenues à cette usine sont attribuables à l'incinération de la liqueur résiduelle.

Des produits chimiques de type lignosol sont tirés de liqueurs résiduelles à base de calcium à faible rendement par une usine canadienne. La réduction de la DBO est inférieure à 30 p. 100 et l'application du procédé est limitée par la faiblesse du marché, de sorte qu'il est peu vraisemblable qu'il prenne de l'expansion.

Le procédé Pekilo pour la fabrication de levain a été mis au point il y a quelques années en Finlande et une usine est actuellement exploitée. La réduction de DBO qu'il est possible d'obtenir est du même ordre que dans le cas de la production de l'alcool.

ANNEXE A

Symboles chimiques courants
utilisés dans
l'industrie des pâtes et papiers

Annexe A
SYMBOLES ET NOMS CHIMIQUES

Nom chimique	Symbole	Nom courant
Sulfate d'aluminium	$Al_2(SO_4)_3$	Alun
Bisulfite de calcium	$Ca(HSO_3)_2$	Acide de cuisson brut au sulfite
Carbonate de calcium	$CaCO_3$	Chaux calcaire ou boue résiduelle de chaux
Chlorure de calcium	$CaCl_2$	
Hydroxyde de calcium	$Ca(OH)_2$	Chaux éteinte ou hydratée
Hypochlorite de calcium	$Ca(OCl)_2$	Liqueur de blanchiment
Oxyde de calcium	CaO	Chaux vive
Sulfate de calcium	$CaSO_4$	
Dioxyde de carbone	CO_2	
Chlore	Cl_2	
Dioxyde de chlore	ClO_2	
Diméthyl disulfure	$(CH_3)_2S_2$	
Acide chlorhydrique	HCl	Acide muriatique
Peroxyde d'hydrogène	H_2O_2	
Sulfure d'hydrogène	H_2S	
Sulfate de magnésium	$MgSO_4$	
Méthylmercaptan	CH_3SH	
Oxygène	O_2	
Ozone	O_3	
Bicarbonate de sodium	$NaHCO_3$	Bicarbonate de soude
Carbonate de sodium anhydre	Na_2CO_3	Alcali minéral
Chlorate de sodium	$NaClO_3$	
Hydrosulfite de sodium	$Na_2S_2O_4$	
Hydroxyde de sodium	$NaOH$	Soude caustique
Sulfate de sodium	Na_2SO_4	
Sulfite de sodium	Na_2S	

Nom chimique	Symbole	Nom courant
Thiosulfate de sodium	$Na_2S_2O_3$	
Dioxyde de soufre	SO_2	
Trioxyde de soufre	SO_3	
Acide sulfurique	H_2SO_4	
Dioxyde de titane	TiO_2	
Eau	H_2O	
Hydrosulfite de zinc	ZnS_2O_4	

ANNEXE B

Bibliographie

Annexe B

BIBLIOGRAPHIE

Les documents suivants donnent des descriptions beaucoup plus détaillées des procédés et de l'équipement de production de l'industrie des pâtes et papiers que ce manuel et sont donc recommandés pour des informations supplémentaires.

Gary A. Smook, Handbook of Pulp and Paper Technology, CPPA, January 1983.

J.P. Casey, Pulping and Paper Chemistry and Technology, Volumes I, II, and III, Wily Interscience, 1981.

R.P. Singh (Editor), The Bleaching of Pulp, TAPPI Press, 1979.

R.G. MacDonald (Editor), Pulp and Paper Manufacture, Volumes I, II, and III, CPPA, 1970.

S.A. Rydholm, Pulping Processes, Interscience Publishers, 1965.

K. Britt (editor), Handbook of Pulp and Paper Technology, 2nd edition, Van Nostrand Reinhold, 1970.

H.F. Wenzl, Kraft Pulping Theory and Practice, Lockwood Publishing Co., 1967.

Chemical Recovery in Alkaline Pulping Processes, TAPPI Monograph No. 32, 1968.

W.E. Hillis, Wood Extractives and their Significance to the Pulp and Paper Industry, Academic Press, 1962.

Groundwood Operating Manual, CPPA, 1967.

Sulphite Operating Manual, CPPA, 1976.

Les publications CPPA sont disponibles à:

Secrétariat des publications
Section technique CPPA
Édifice Sun Life, 23e étage
1155, rue Metcalfe
Montréal (Québec) H3B 2X9

Les rapports suivants d'Environnement Canada ont été consultés (et à l'occasion, certains passages ont été cités):

Les techniques de lutte contre la pollution atmosphérique dans l'industrie de la pâte de bois, SPE 3-AP-77-6F, Direction générale de l'assainissement de l'air, 1979.

Techniques de base de l'industrie des pâtes et papiers et méthodes de réduction de ses déchets, SPE 6-WP-74-3F, Direction générale de la lutte contre la pollution des eaux, 1978.

Application du procédé Rapson-Reeve en circuit fermé à l'usine de la Great Lakes Forest Products Limited, SPE 4-WP-80-4F, Direction générale de la lutte contre la pollution des eaux, 1980.

Comptes rendus de séminaires sur la pollution de l'eau - techniques d'épuration des eaux usées de l'industrie des pâtes et papiers, les 1 et 2 mai 1975, les 5 et 6 mai 1975, et les 21 et 22 mai 1975, SPE 3-WP-76-4F, Direction générale de la lutte contre la pollution des eaux, 1980.

Strippage aux gaz résiduaires des condensats impurs du procédé Kraft, SPE 3-WP-82-1F, Direction de la lutte contre la pollution des eaux, 1982.

Règlement et lignes directrices concernant le règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papier, EPS 1-WP-72-1 et EPS 1-WP-72-2, Direction générale de la lutte contre la pollution des eaux, 1972.

Méthode normalisée de contrôle de la toxicité aigue des effluents, EPS 1-WP-80-1, Direction générale de la lutte contre la pollution des eaux, 1980.

Plus de 5000 articles ont été publiés sur la pollution et l'environnement dans des journaux techniques de l'industrie des pâtes et papiers au cours des 10 dernières années. Pour des renseignements particuliers, il faut les consulter, préférablement par l'intermédiaire de l'une des banques de données informatiques commerciales, comme DIALOG ou INFOMART.

L'INSTITUT CANADIEN DE RECHERCHES SUR LES PÂTES ET PAPIERS (Pointe Claire, Québec) effectue des recherches documentaires pour une somme forfaitaire.

Le Service documentaire CAN-OLE du Conseil national de recherches donne un service très complet sur les sources canadiennes, incluant les publications gouvernementales, mais ne couvre pas les bulletins sommaires de l'Institut de la chimie des papiers (ABIPC), qui est l'une des meilleures sources pour les recherches sur l'industrie des pâtes et papiers. Les autres services mentionnés ci-dessus comprennent l'ABIPC, connu sous le nom commercial de PAPERCHEM.

ANNEXE C

La chimie du bois

Annexe C
LA CHIMIE DU BOIS

STRUCTURE DE L'ARBRE

On considère généralement que l'arbre est constitué de trois parties principales: (a) la cime, composée des feuilles et des branches, (b) le tronc et (c) l'appareil radiculaire. Les feuilles ou les aiguilles sont les "usines" où se fabriquent les matières alimentaires, source d'énergie et de croissance de l'arbre, par l'intermédiaire de la photosynthèse. (La photosynthèse est la production d'hydrates de carbone à partir d'anhydride carbonique et d'eau en présence de la chlorophylle et de la lumière.)

À la figure C-1, on trouve le croquis en coupe d'un tronc d'arbre montrant sa structure générale. Le cambium est une mince couche cellulaire entre l'écorce et l'aubier, le lieu de croissance des cellules. La vitesse d'accroissement varie avec les saisons, des cellules fibreuses aux parois minces se déposant au printemps, et des fibres plus denses, aux parois épaisses, se déposant à l'automne. Le cambium est inactif pendant les mois les plus froids de l'année. Cette croissance annuelle explique le phénomène des anneaux annuels, dont le nombre total représente l'âge de l'arbre.

Le liber est une couche mince contenant des cellules conductrices et des cellules d'emmagasinage. L'écorce extérieure est un ensemble de cellules mortes qui existaient à l'origine dans le liber vivant. Chimiquement, elle est composée d'une variété d'éléments étrangers ainsi que de cellulose, d'hémicellulose et de lignine.

L'aubier de l'arbre fournit un support structural à la cime de l'arbre, agit comme réservoir nutritif et s'acquitte de l'importante fonction de l'acheminement de la sève. Il est physiologiquement actif et en communication continue avec le cambium et avec le liber vivant.

Le bois de coeur (ou duramen) est un noyau de cellules de bois mortes dans le centre du tronc, dont l'activité physiologique a cessé. Il ne sert que de support mécanique. Le bois de coeur est habituellement beaucoup plus foncé que l'aubier, en raison de la déposition de composés organiques résineux dans les parois et les cavités des cellules. Cette déposition fait qu'au moment de la fabrication de la pâte, la pénétration des lessives est plus difficile dans le bois de coeur que dans l'aubier.

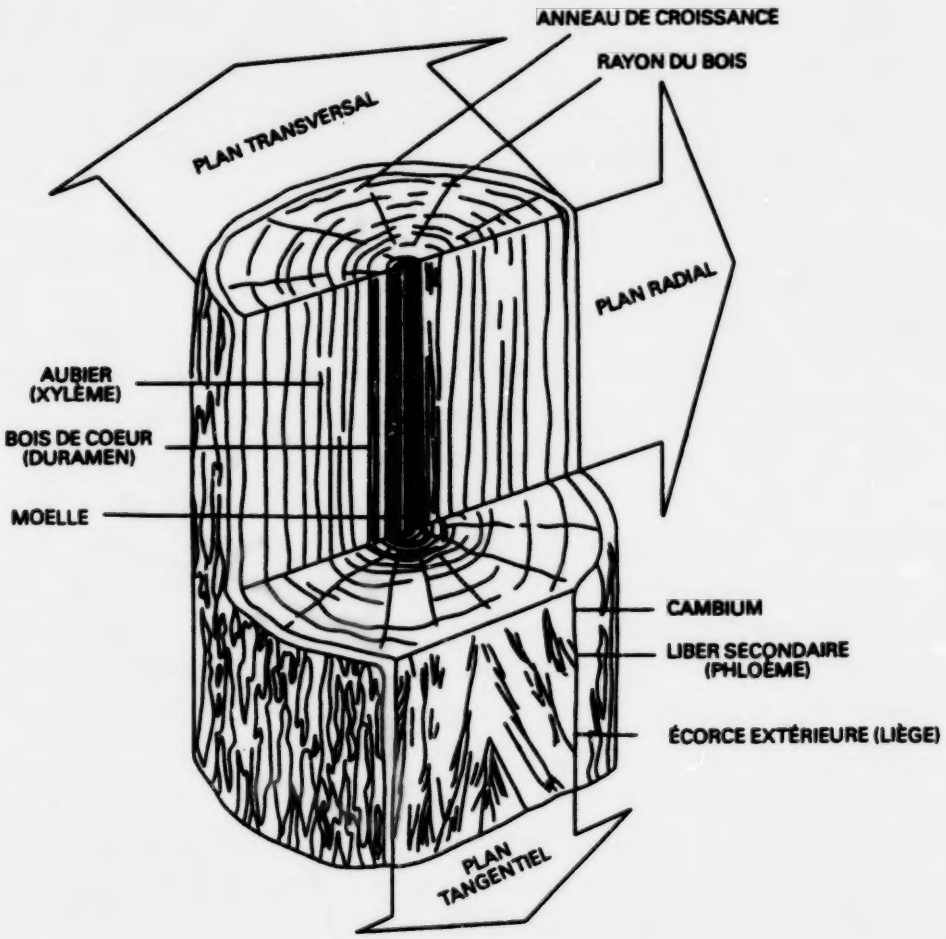

FIGURE C-1 Bloc de bois en coupe

Essences répandues

Deux grandes sortes de bois sont communément utilisées dans la fabrication canadienne des pâtes et papiers. Il s'agit des conifères (gymnospermes) ou des bois mous, et des bois durs (angiospermes) ou feuillus.

Les conifères prédominent et représentent 80 p. 100 environ des forêts existantes. Les essences les plus importantes sont le pin gris, l'épinette, le sapin et la pruche de l'Est. On les rencontre habituellement en peuplements purs, et ce sont ces essences qui conviennent le mieux aux méthodes classiques de fabrication de pâte. Du point de vue de la fabrication du papier, l'élément structural important des conifères est

la trachéïde des fibres, de forme tubulaire, dont la longueur varie entre 2 mm et 5 mm. (Voir la figure C-2.) La trachéïde du bois initial a beaucoup plus de ponctuations que la trachéïde du bois final. Naturellement, cela est dû à l'activité physiologique plus intense qui a eu lieu au moment de la formation des cellules du bois initial.

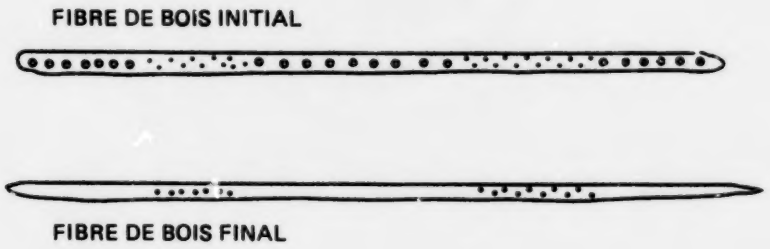

FIGURE C-2 Trachéïdes de bois initial et final

Les essences de bois durs sont les arbres qui perdent leurs feuilles annuellement. Les essences canadiennes les plus connues utilisées pour la fabrication de pâte sont les bouleaux, les trembles, les peupliers et les érables. Les bois durs ont une structure plus dense que les bois mous et il est plus difficile de les défibrer. Leur teneur en constituants colorés et résineux est aussi plus élevée que dans le cas des bois mous. La présence d'éléments poreux est une différence anatomique majeure des feuillus, si on les compare aux conifères. Les vaisseaux sont courts, mais ils forment dans l'arbre des réseaux en forme de pipe-line dont la fonction majeure est l'acheminement de la sève. La longueur des fibres des feuillus varie entre 1 mm et 2 mm, et ces fibres ont beaucoup moins de ponctuations sur leurs parois si on les compare aux fibres des conifères. On trouvera à la figure C-3 des exemples des fibres et vaisseaux classiques des feuillus.

STRUCTURE DES FIBRES

La figure C-4 présente une vue en coupe transversale d'une cellule caractéristique des fibres. Toutes les fibres sont tubulaires par nature, étant dotées de cavités internes qu'on appelle le lumen de la fibre. On peut dire que la structure de la paroi d'une cellule de fibre se compose d'une paroi primaire externe et d'une paroi secondaire interne qui se divise en trois couches: la couche externe (S1), la couche moyenne (S2) et la couche interne (S3). La différenciation des couches de la paroi

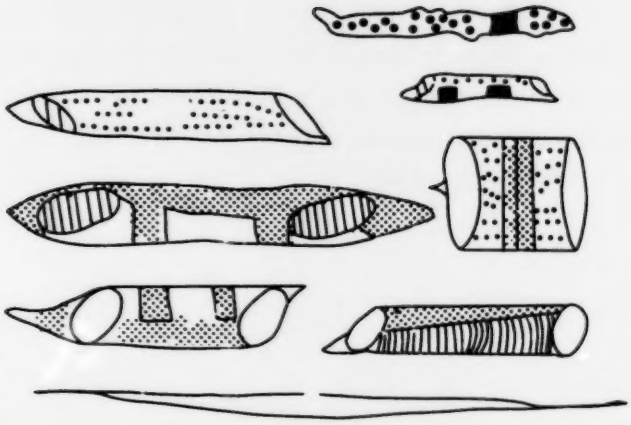

FIGURE C-3 Éléments typiques de fibres et de vaisseaux de feuillus

secondaire repose sur l'orientation différente des fibrilles de cellulose qui en forment la structure. La substance intercellulaire est du genre adhésif résineux et a pour fonction de lier les cellules pour donner à l'arbre une rigidité structurale. Cette substance est appelée lignine. Elle forme de 26 p. 100 à 30 p. 100 du poids des conifères et de 18 p. 100 à 25 p. 100 du poids des feuillus. Pour séparer les fibres les unes des autres pour la fabrication du papier, il faut éliminer la lignine. La proportion de lignine enlevée dépend de l'intensité et du genre d'énergie mécanique et chimique appliquée au bois au moment du défibrage.

Importance de la morphologie de la fibre dans la fabrication de la pâte. - La structure anatomique du bois est particulièrement importante dans la fabrication de la pâte chimique, car elle règle largement l'ampleur et la manière de pénétration et de diffusion dans le bois des produits chimiques de défibrage. Tandis que la réduction des grumes en copeaux expose une plus grande surface de bois, ce sont le réseau capillaire et la ponctuation entre les fibres et les autres cellules du bois qui règlent surtout la pénétration de la lessive.

Dans les conifères, la pénétration de la liqueur s'effectue surtout par le lumen de la fibre à trachéïdes et par leurs nombreuses ponctuations aréolaires et leurs capillaires. Dans les feuillus, la pénétration s'effectue rapidement par les grands lumens des segments de vaisseaux, mais la délignification est plus lente que dans le cas des conifères en raison de l'absence de ponctuation dans la paroi des fibres. La ponctuation de la paroi des fibres

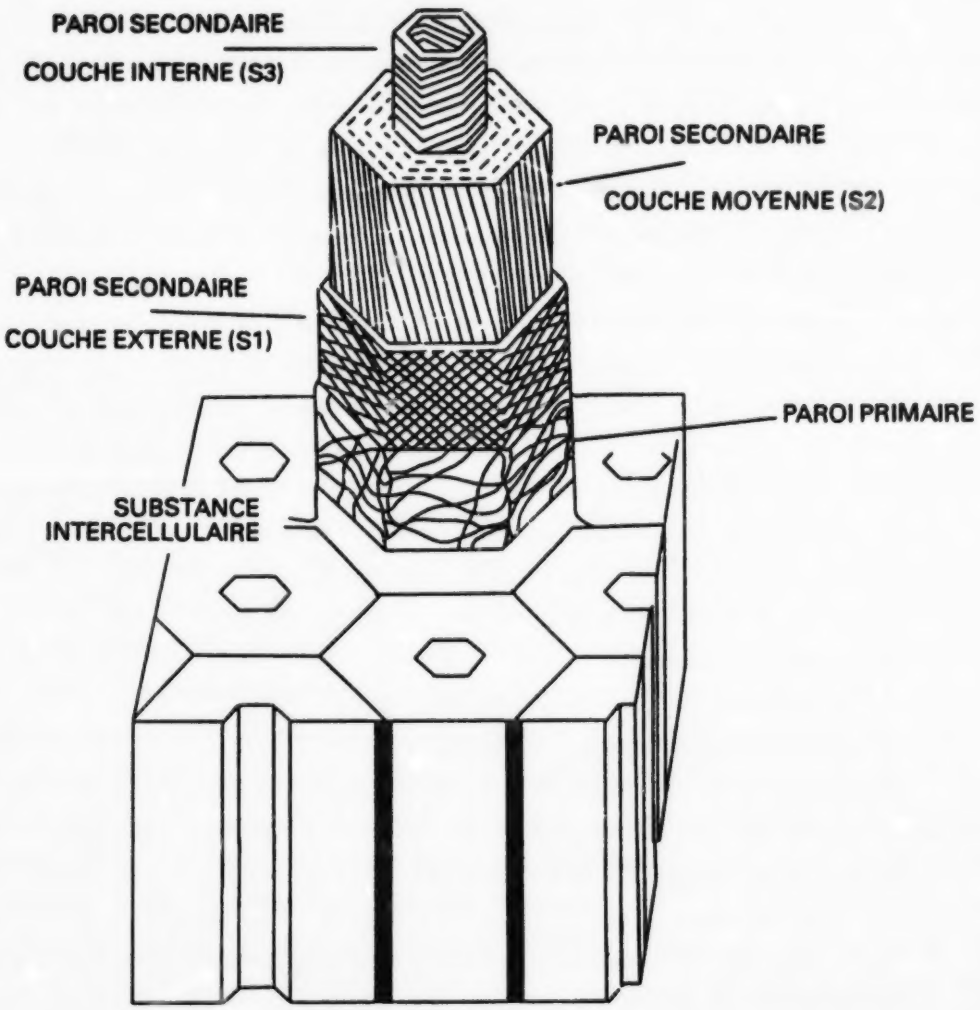

FIGURE C-4 Schéma de la structure d'une fibre de bois

aide à la diffusion des produits chimiques dans les lamelles moyennes très lignifiées. La diffusion des produits chimiques par les parois des fibres jusqu'aux lamelles moyennes se produit aussi, mais moins rapidement. Une fois que les produits chimiques ont atteint les lamelles moyennes, la délignification se produit par dissolution du réseau de lignine en des formes solubles de tailles différentes.

Importance de la morphologie des fibres dans la fabrication du papier. - La résistance à la traction et la résistance à l'éclatement sont deux des propriétés physiques importantes du papier. Même si une analyse détaillée de ce domaine n'est pas opportune dans le cadre de ce manuel, il faut reconnaître que les caractéristiques anatomiques suivantes ont toutes une incidence directe sur la résistance du papier: (a) la longueur et la largeur de la fibre, (b) l'épaisseur de la paroi des cellules, (c) la densité de base (le rapport entre l'épaisseur de la paroi des cellules et le diamètre est un bon indice de la densité des fibres), (d) le pourcentage de bois initial et de bois final, et (e) le diamètre du lumen. Même si la composition chimique des fibres joue aussi un rôle dans la détermination des propriétés de résistance, elle n'est pas aussi importante que les caractéristiques anatomiques. Par exemple, les fibres du bois initial, avec leurs minces parois de cellules et leur grand lumen, se brisent rapidement au moment de la fabrication de la pâte, ce qui donne de grandes surfaces pour la liaison des fibres entre elles. Cette grande cohésion des fibres donne du papier qui a les caractéristiques suivantes:

a) une forte résistance à la traction et à l'éclatement,

b) un faible bouffant,

c) une surface lisse pour l'impression,

d) et une faible résistance à la déchirure.

D'un autre côté, les fibres du bois initial dont les cellules ont des parois épaisses et de petits lumens donnent des papiers qui ont les caractéristiques suivantes:

a) une forte résistance à la déchirure,

b) un fort bouffant,

c) et une faible résistance à la traction, à l'éclatement et au pliage.

Ces fibres ne se rompent pas facilement au moment de la fabrication de la pâte; elles demeurent rigides et ne donnent donc pas une forte cohésion des fibres.

COMPOSITION CHIMIQUE DU BOIS

La composition chimique des feuillus et des conifères est assez semblable et ressemble à celle indiquée au tableau C-1 et à la figure C-5.

On décompose habituellement les éléments du bois en trois systèmes chimiques majeurs:

a) les polysaccharides,

b) les lignines,

c) les substances extractibles.

TABLEAU C-1 ÉLÉMENTS CHIMIQUES DU BOIS

Éléments chimiques	Pourcentage du poids (approximativement)
Carbone	50
Oxygène	44
Hydrogène	6
Azote	0,1
Cendre (inorganique)	0,3

Lorsque le bois est broyé et qu'on lui a appliqué des solvants neutres d'extraction comme de l'eau, de l'alcool, du benzène, de l'éther et de l'acétone, 3 p. 100 à 10 p. 100 du bois se dissolvent. La fraction extraite contient diverses couleurs, et c'est elle qui colore les effluents d'une usine de pâte. Les alcools s'évaporent et polluent l'atmosphère. On a traité de ces substances lors des discussions sur les sous-produits polluants.

On trouve la partie du bois qui est constituée de polysaccharides dans la paroi des cellules des fibres. Selon l'essence, elle constitue entre 60 p. 100 et 80 p. 100 du poids total du bois sec. Les polysaccharides du bois sont simplement des hydrates de carbone dont le poids moléculaire est élevé, composés de sucres simples comme le glucose, le mannose et le xylose. Les polysaccharides sont constitués de cellulose et d'hémicellulose. Leur combinaison est généralement appelée holocellulose. Le principal composant polysaccharide du bois est la cellulose. C'est un polymère du glucose, sucre simple, et, selon son D.P., ou degré de polymérisation (c'est-à-dire le nombre d'unités de glucose dans le polymère), il peut avoir un poids moléculaire très élevé. Le D.P. de la cellulose varie généralement entre 1000 et 15 000. La cellulose qu'on trouve dans la paroi de la cellule des fibres a des caractéristiques amorphes et cristallines. On trouvera à la figure C-6 une décomposition schématique de la cellulose sous sa forme la plus simple.

On appelle hémicelluloses les autres polysaccharides au poids moléculaire plus faible. En raison de leurs ramifications, ce sont des polymères plus complexes que la cellulose. Leur structure consiste en combinaisons variées d'unités de mannose, de xylose, de galactose et d'arabinose, ainsi que d'unités d'acide uronique. Les parties de l'hémicellulose qui contiennent du xylose sont souvent appelés xylanes ou pentosanes, le xylose constituant le sucre le plus commun du pentose. Une autre variété d'hémicellulose est constituée en grande partie d'unités de mannose liées entre elles, et liées aux unités de

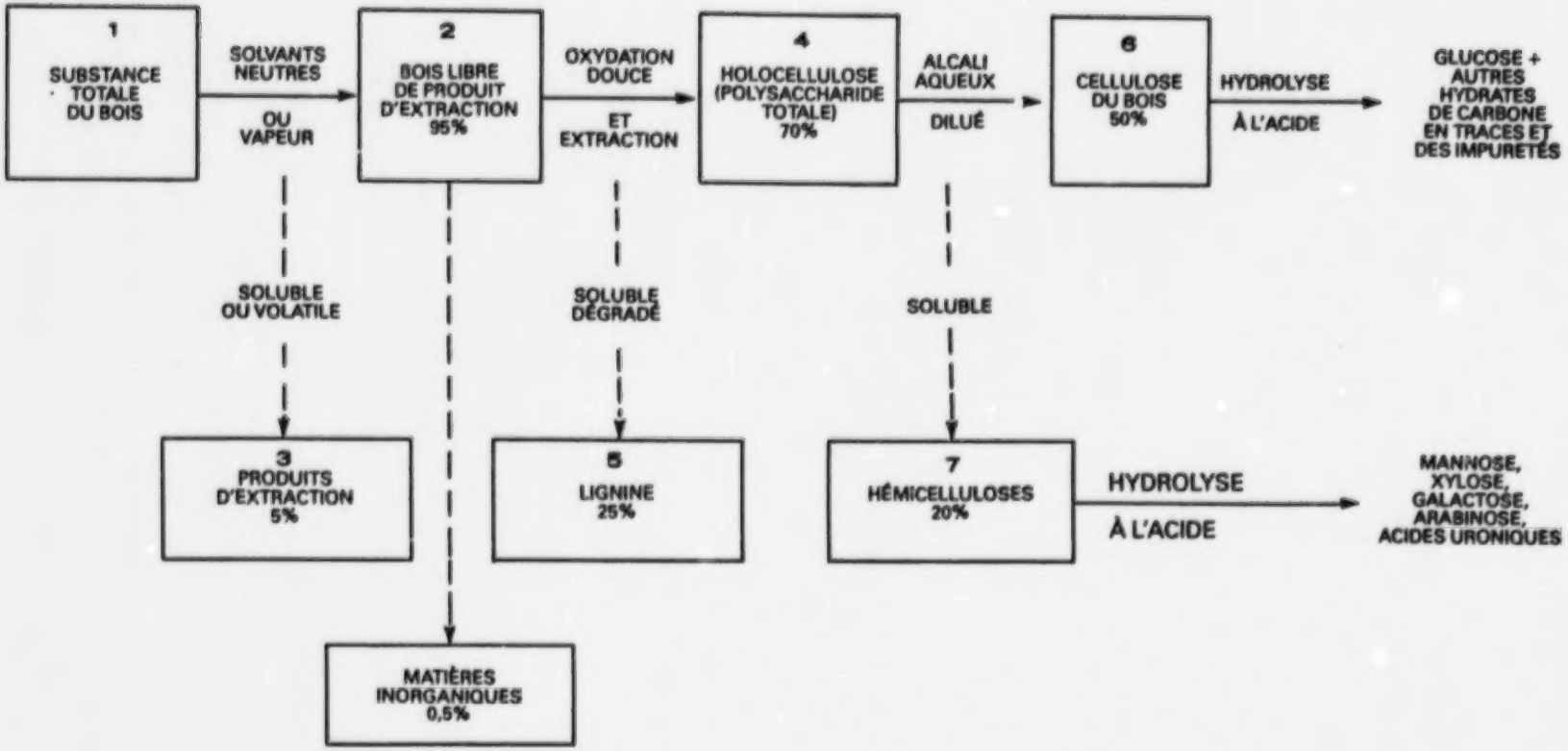

FIGURE C-5 Composés chimiques du bois

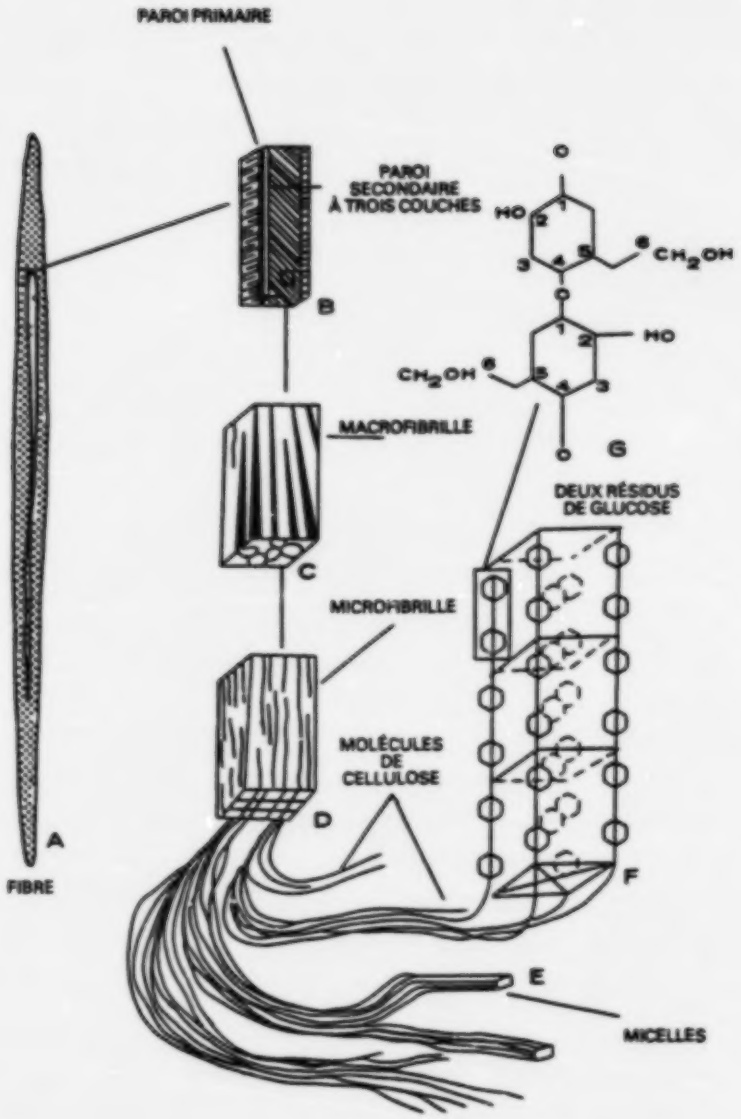

FIGURE C-6 Structure microscopique et ultra-microscopique de la cellulose

glucose. Il s'agit des glucomannanes. Les figures C-7 et C-8 illustrent leur structure chimique. Le tableau C-2 indique les quantités relatives de ces hémicelluloses dans les bois durs et dans les bois tendres. L'hémicellulose résiste moins bien à la dégradation que la cellulose durant la fabrication de la pâte chimique, de sorte que les produits ainsi dégradés viennent s'ajouter aux lessives usées qui contribuent à la charge en DBO.

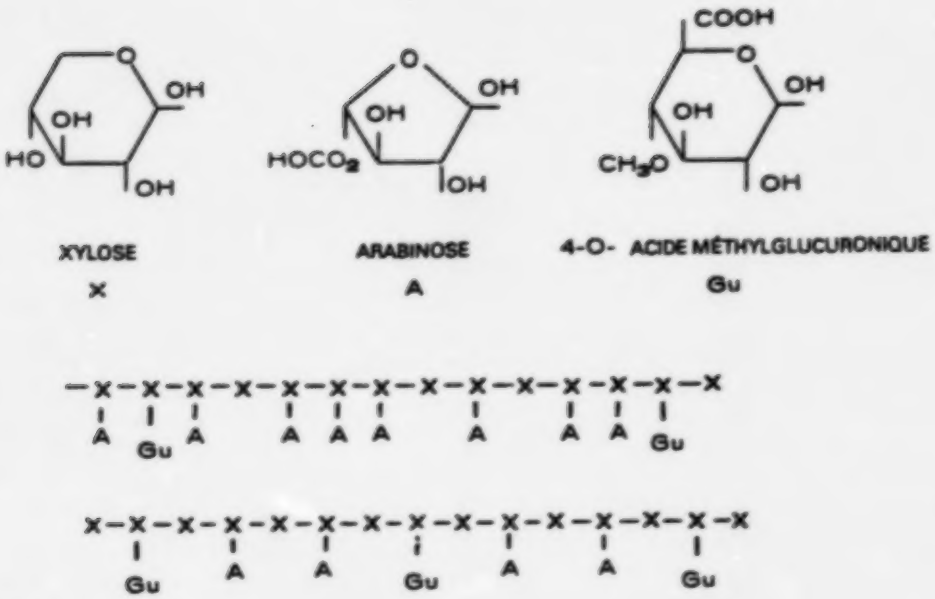

FIGURE C-7 Structure des xylanes

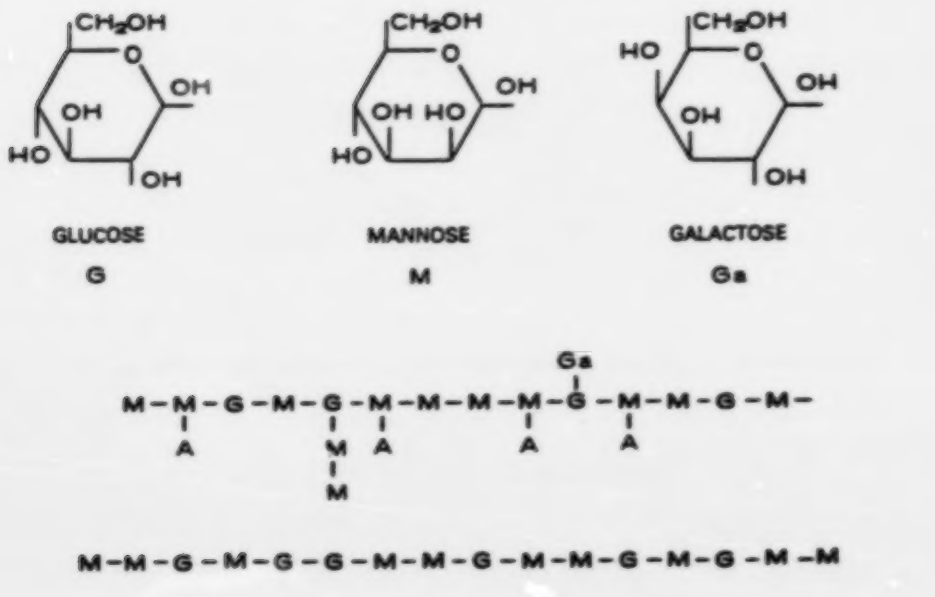

FIGURE C-8 Structure des glucomannanes

TABLEAU C-2 PRINCIPAUX POLYMÈRES DES HYDRATES DE CARBONE DE L'HÉMICELLULOSE DES BOIS DURS ET DES BOIS TENDRES

Polymère	Quantité relative	
	Bois tendres	Bois durs
4-0-méthylglucuronoxylane (acétate)	faible ou inexistante	très importante
4-0-méthylglucuronoarabinoxylane	moyenne	infime
Glucomannane	nulle	peu importante
Galactoglucomannane (acétate)	très importante	nulle
Arabinogalactane	importante pour le mélèze	nulle

Source: T.E. Timmel, Wood Science and Technology, 1(1): 45, 1967.

La lignine constitue le deuxième élément du bois, par ordre d'importance, et est à l'origine de 25 p. 100 à 35 p. 100 de son poids. Le réseau de lignine se concentre entre les cellules fibreuses; il cimente les fibres entre elles et donne à l'arbre la rigidité de sa structure. La lignine se forme dans le bois après que les hydrates de carbone s'y soient établis. La lignification commence vraiment lors de la formation de la paroi secondaire de la fibre.

Le monomère de phényl-propane qui apparaît à la figure C-9 constitue le fondement de la formation de la lignine.

Comme l'indique la figure C-10, la lignine est un réseau complexe, à trois dimensions, d'unités de phényl-propane liées par de l'éther et du carbone. On ne comprend pas encore tout à fait sa structure. Règle générale, on juge que la lignine est un polymère d'un poids moléculaire extrêmement élevé, et que pour cette raison aucun solvant ne peut agir avant qu'il ne soit dégradé.

Mécanismes de la fabrication de la pâte

La solubilité de la lignine est principalement régie par:

a) l'interaction des composés du soufre avec la lignine par sulfonation, durant le procédé au sulfite, et par sulfitage, durant le procédé kraft,

b) et le taux d'hydrolyse, qui est régi en grande partie par l'adaptation du pH (par "hydrolyse", on entend le clivage des liaisons de lignine-lignine ou de lignine-hydrates de carbone, et l'introduction de groupes d'hydroxyles au moment du clivage).

Les figures C-11, C-12 et C-13 illustrent la sulfonation, le sulfitage et l'hydrolyse.

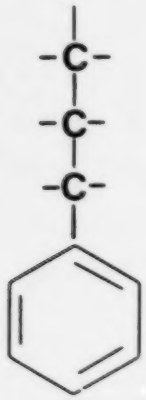

FIGURE C-9 Monomère de phényl-propane

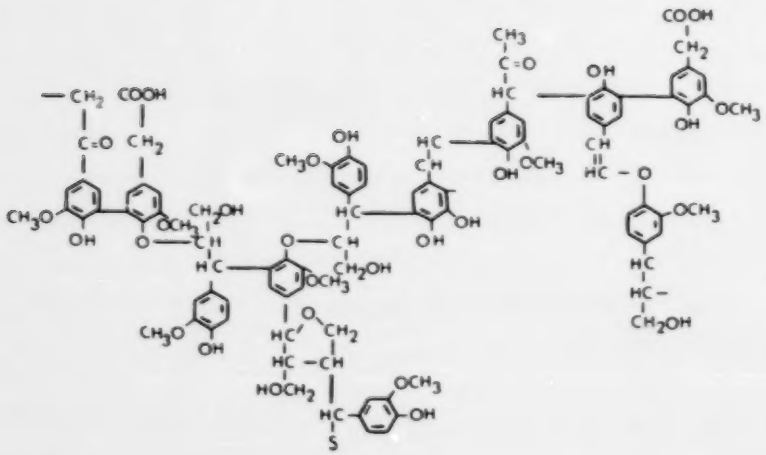

FIGURE C-10 Essai de définition des caractères structuraux d'un segment d'une molécule de lignine (pin soumis au procédé kraft)

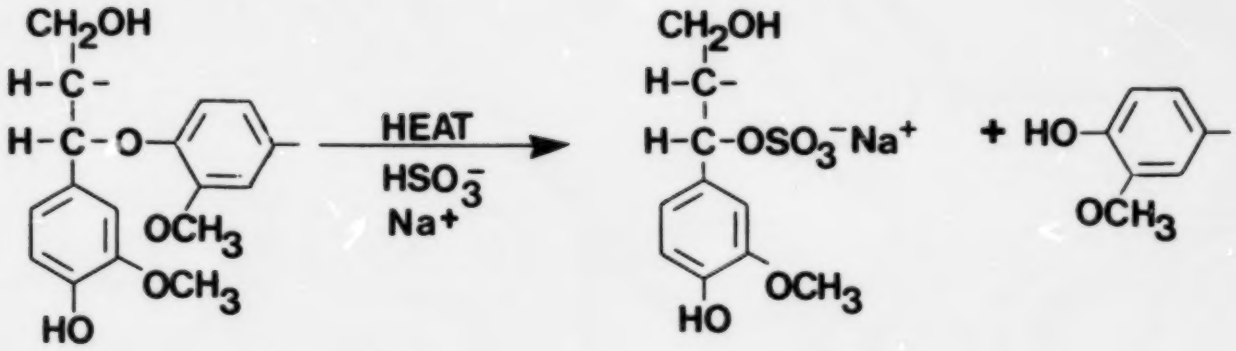

FIGURE C-11 Réaction de la lignine à la sulfonation

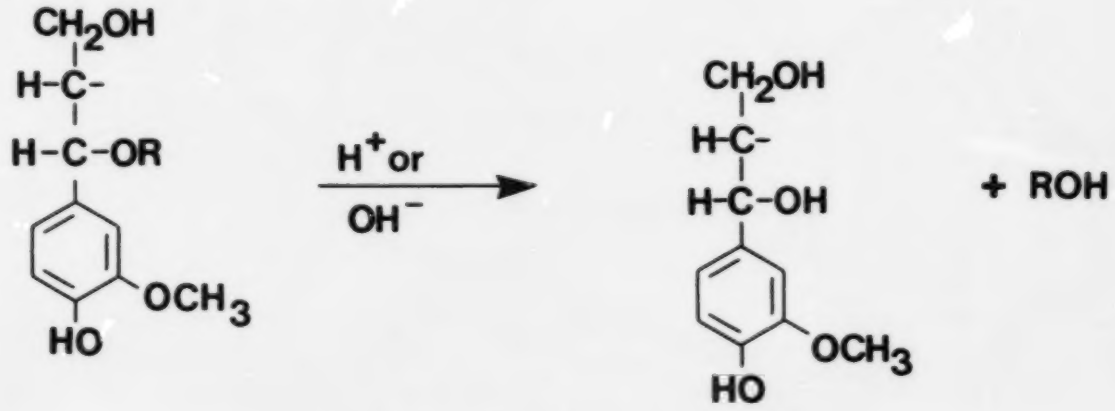

FIGURE C-12 Hydrolyse acide ou alcaline

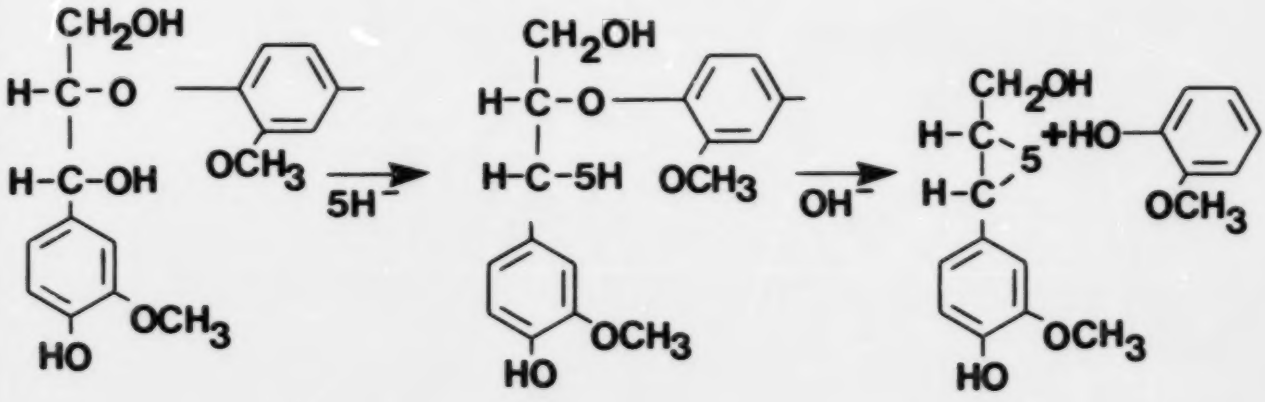

FIGURE C-13 Sulfitage et hydrolyse alcaline de la lignine

ANNEXE D

Glossaire de l'industrie des pâtes et papiers
(Y compris les abréviations utilisées dans le présent guide)

Annexe D

GLOSSAIRE DE L'INDUSTRIE DES PÂTES ET PAPIERS

Additifs	Matières premières non fibreuses servant à la fabrication du papier.
Sèche à l'air	Se dit d'une pâte qui contient 90 p. 100 de fibres séchées et 10 p. 100 d'humidité (1 tonne de pâte séchée à l'air = 900 kilos de pâte séchée au four).
Lame d'air	Le principe de la lame d'air agit est le même que celui de la lame de docteur; il utilise un fin jet d'air pour éliminer l'excès de couchage d'une feuille récemment couchée et humide.
Poids par rame	Auparavant, le poids en livres d'une rame normalisée de papier. (Cette unité est loin d'être normalisée dans le système anglais.) L'unité de mesure du système international est le g/m^2, souvent appelée grammage.
Méthode Bauer McNett	Méthode de classification des fibres de pâtes et papiers consistant à faire passer un échantillon à travers une série de classeurs à tamis de maillages différents et à déterminer le pourcentage de refus de chaque tamis.
Pile raffineuse	Cuvier servant à mélanger, défibrer ou raffiner les pâtes.
Liqueur noire	Liquide du procédé au sulfate composé de produits chimiques résiduaires de défibrage et de résidus de bois. Une liqueur noire diluée a une teneur en matières solides inférieure à 20 p. 100 et une liqueur noire concentrée a une teneur supérieure à 50 p. 100.
Blanchet (impression offset)	Feuille de caoutchouc toilé lisse permettant le transfert de l'impression de la plaque au papier.
Réservoir de décharge	Réservoir à l'intérieur duquel le contenu du lessiveur est déversé (par soufflage), dans les usines de pâte chimique.
Fosse de décharge	Cuvette ou cuvier jouant le même rôle qu'un réservoir de décharge.
Anhydre	Voir "Séché au four".
DBO	La demande biochimique en oxygène est une propriété de l'effluent déterminée en mesurant la quantité d'oxygène consommée par un échantillon dans des conditions contrôlées (20 °C, pH neutre) pendant une période donnée. Elle est souvent présentée sous forme de DBO_5 où l'indice renvoie à la durée en jours du test. La période la plus souvent utilisée est cinq jours et doit être invariablement désignée par l'expression DBO_5. Toutefois, "DBO" désigne couramment l'essai de cinq jours en Amérique du Nord et a été adopté dans tout le présent guide.

Lisse intermédiaire	Presse verticale située dans la sécherie et qui a pour fonction de compacter et de lisser la feuille pendant que sa teneur en humidité est encore relativement élevée.
Longueur de rupture	Longueur d'une feuille de papier qui, sous l'effet de son propre poids, se déchirerait si elle était suspendue à la verticale.
Rouleau de tête	Rouleau qui entraîne la toile de la machine à papier à l'extrémité avant de la table plate, là où la pâte est pulvérisée sur la toile.
Blanchiment	Terme souvent utilisé pour décrire le blanchiment limité de la pâte mécanique. Voir également le chapitre 7.
Blancheur	Mesure normalisée de la blancheur du papier. Voir également la discussion au chapitre 7.
Cassé de fabrication ou refus	Papier qui a été rejeté à un stade ou à un autre du procédé de fabrication. Il est habituellement retourné à une unité de retrituration pour un nouveau traitement.
Pâte écrue	Pâte kraft humide qui n'est pas encore blanchie.
Indice de densité apparent	Quotient de la division de l'épaisseur du papier par son poids de base. C'est en réalité le volume spécifique. Le SI l'exprime en cm^3/g.
Molette	Outil à stries imprimées par compression sur la meule du défibreur. Les types les plus courants sont la molette à filets, la molette à rainures droites et la molette à pointes diamant.
Calandre	Dispositif d'une machine à papier constitué d'un certain nombre de rouleaux superposés en fonte coquille destinés à régler l'épaisseur et le lissé de la bande de papier qui passe entre les zones de contact de deux rouleaux.
Épaisseur du papier	L'épaisseur d'une feuille de papier est mesurée en millièmes de pouce dans le système anglais et en microns dans le système international.
Soude caustique	Nom courant de l'hydroxyde de sodium.
Extraction par caustification	Étape du blanchiment pendant laquelle des matières organiques fortement colorées sont dissoutes avec des alcalis, habituellement du NaOH.
Cuve de caustification	Cuvier de réaction de l'hydroxyde de calcium avec le carbonate de soude pour former de la soude caustique et du carbonate de calcium.
Faisceau	Petit paquet grumeleux de fibres non séparées qui se trouvent dans la pâte mécanique; bûchettes.

ST	Voir "Sens de fabrication".
Couchage	Couche de substances adhésives ou colorantes dont la surface de papier ou de carton a été enduite pour obtenir une nouvelle surface.
Poids de la couche	Quantité de couchage sec; habituellement exprimé en livres par rame ou en g/m^2.
DCO	Demande chimique en oxygène.
SO_2 combiné	Anhydride sulfureux qui a été fixé par une base alcaline.
Condensat	Eau obtenue par condensation de la vapeur qui est entrée en contact avec une surface plus froide pendant une opération. Un condensat contaminé ou impur désigne habituellement la vapeur condensée de l'évaporation de la liqueur noire ou d'une autre liqueur résiduaire de fabrication de la pâte.
Conifères	Arbres à feuillage persistant et à fruits regroupés en cônes, comme l'épinette, la pruche, le sapin Douglas, le pin.
Consistance	(Également appelée "Concentration de la pâte".) Poids en pourcentage de fibres anhydres ou séchées à l'air (selon l'indication) des fibres d'une pâte en suspension dans l'eau.
Cuisson ou lessivage	Terme habituel désignant le procédé de fabrication chimique de la pâte se déroulant dans le lessiveur, où les fibres sont séparées de la matière ligneuse par des produits chimiques sous pression, à des températures élevées (voir la section portant sur le procédé de fabrication de la pâte du présent guide).
Cylindre aspirant de toile	Dernier(s) rouleau(x) qui permet(tent) un dernier égouttage du matelas fibreux avant son passage dans les presses. Le cylindre aspirant inférieur sert à entraîner la toile.
Bombé	Un rouleau est bombé lorsque son diamètre, en son milieu, est plus large que celui de ses extrémités et qu'il se rétrécit graduellement du milieu vers les extrémités pour compenser sa déflexion.
Écrasé	Défaut du papier causé par une pression linéaire trop grande exercée sur la bande de papier trop humide.
Unité cubique	Mesure du volume apparent de 200 pieds cubes pour les copeaux de bois, les sciures et les déchets de bois. Le système métrique les désigne en m^3.
Roulage	Malformation de feuilles de papier causées par une inégalité des faces, entraînant une contraction inégale entre le côté toile et le côté feutre lorsqu'on la soumet à des changements d'humidité relative.

Rouleau égoutteur	Armature cylindrique garnie d'une toile métallique et utilisée sur une table plate de fabrication près de la caisse aspirante pour améliorer l'épair et rendre la feuille humide plus compacte. Il est également utilisé pour marquer la feuille d'un filigrane.
Décanteur (térébenthine)	Réservoir utilisé pour séparer la térébenthine du condensat.
Feuillus	Arbres à larges feuilles qui perdent leurs feuilles en hiver, comme l'aulne, l'érable, le chêne, le bouleau et le peuplier baumier.
Épaississeur	Appareil destiné à épaissir la pâte par filtration des fibres par un tambour filtrant rotatif. Il se compose habituellement d'un bac à pâte, d'une forme ronde et d'un cylindre aspirant de toile d'où la pâte est éliminée par un docteur.
Porosimètre à cylindre	Appareil de mesure de la résistance du papier au passage de l'air.
Facteur de dilution (FD)	Voir la section 5.3.3.
Colorants directs	Classe de colorants anilines également appelés colorants substantifs, à cause de leur grande affinité avec la cellulose.
Évaporateurs à contact direct	Voir la section 11.1.
Raffineur à disques	Raffineur en continu, dans lequel la pâte est raffinée lors de son passage entre des plaques cannelées situées sur deux disques se déplaçant l'un par rapport à l'autre. C'est le principal type de raffineur utilisé de nos jours. Habituellement, l'un des disques est fixe et l'autre rotatif.
Dispersant (agent de dispersion)	Agent de surface ajouté à un milieu de suspension pour favoriser et conserver la dispersion des différentes particules fines solides ou des liquides.
Lame de docteur	Mince bande de métal, de bois ou de caoutchouc placée près de toute la longueur d'un rouleau ou d'un cylindre pour en garder la surface propre ou pour plisser le papier. Sert également à régler les applications en surface.
Décalage	Différences de vitesse entre deux sections adjacentes de la machine à papier pour compenser l'étirement de la bande de papier.
Cylindres sécheurs	Cylindres chauffés à la vapeur sur lesquels la bande de papier passe pour sécher.
Pigments colorants	Colorants qui, de par leur nature, sont insolubles dans l'eau et peuvent être utilisés directement comme pigments sans aucune transformation chimique.

Électrofiltre	Dispositif servant à éliminer les particules des jets de vapeur par l'application d'une forte charge d'électricité statique.
Enzyme	Classe de substances organiques complexes qui accélèrent ou provoquent des transformations chimiques spécifiques comme la modification des amidons naturels pour les applications par presse encolleuse.
Pompe de mélange	Grosse pompe utilisée dans la fabrication du papier pour diluer la pâte avec de l'eau et acheminer la suspension vers la caisse d'arrivée de la machine à papier.
Fibre	La plus petite cellule d'une substance végétale.
Dépastillage	Procédé pour réduire en fibres individuelles les agrégats de fibres de matières comme les copeaux de bois, les casses de fabrication des feuilles de pâte, la pâte de papier récupérée et ainsi de suite.
Fibrillation	Désagrégation des éléments filiformes des agglomérats de fibres.
Fibrilles	Éléments filiformes de la paroi de la cellule d'une fibre de cellulose.
Charge ou intérieur (du carton)	Substances servant à combler les espaces vides entre les fibres. La majeure partie du papier d'imprimerie, sauf le papier journal, contient des quantités importantes de charge. Ce terme sert également à désigner certaines couches intérieures de fibres de faible qualité du carton multijet.
Filtre	Dispositif servant à séparer les matières solubles en suspension d'un liquide.
Filtrat	Voir "Filtre". Le filtrat est habituellement de l'eau blanche, de la liqueur noire ou de la liqueur de sulfite résiduaire.
Racles d'égouttage	Lames fixes spéciales d'une table plate de fabrication qui supporte la toile et permet de régler l'égouttage de l'eau. Elles remplacent les pontuseaux.
Essai de pliage	Nombre de doubles plis que peut supporter une feuille de papier avant de se rompre.
Épair	Terme décrivant la disposition des fibres d'une feuille de papier; il peut être irrégulier ou fondu, plein ou régulier.
Toile métallique fourdrinier	Toile métallique sans fin sur laquelle la feuille se forme. Aujourd'hui, elle est habituellement faite de plastique.
Indice d'égouttage ou degré de raffinage	Mesure de la vitesse à laquelle s'égoutte l'eau d'une suspension de pâte. L'indice d'égouttage canadien est un essai normalisé utilisé à l'échelle internationale.

SO_2 libre	Pour le procédé au sulfite, partie de l'anhydride sulfureux qui n'est pas combinée à une base alcaline mais plutôt à de l'eau sous forme d'acide sulfureux.
Composition	Mélange particulier de matières brutes, à la fois de pâte et de produits chimiques, à partir desquelles on fabrique une qualité particulière de produits avec lesquels on peut alimenter la machine à papier.
Liqueur verte ou lessive verte	Liquide du procédé au sulfate composé de produits chimiques provenant de la chaudière de récupération. Ce sont surtout du monosulfure de sodium et du carbonate de soude en solution aqueuse.
Particules abrasives ou rejets de chaux inerte	Particules abrasives de la meule du défibreur qui agissent comme agent de meulage de la pierre ou dans les usines de kraft, chaux inerte rejetée par l'extincteur.
Pâte mécanique	Pâte obtenue par défibrage mécanique du bois à l'aide de meules de défibreur rotatives ou de plaques de raffinage. Voir également "pâte mécanique raffinée".
Papier fortement collé	Papier traité avec une colle pour lui donner un maximum de résistance à la pénétration de l'eau.
Caisse d'arrivée ou caisse de tête	Partie de la machine à papier qui assure une répartition uniforme de la pâte épurée sur toute la largeur de la toile.
Hémicellulose	Partie d'une fibre de bois se composant de substances saccharoïdes étroitement liées à la cellulose de la paroi fibreuse et éliminées principalement par le lessivage.
Déchets de bois	Expression désignant un combustible fait de déchets de bois et largement utilisé dans les chaudières de l'industrie des pâtes et papiers. Il comporte quelques-uns des éléments suivants ou tous: écorce, sciure, refus de classage des copeaux, brindilles, branches, émondes et autres refus d'exploitation forestière et de scierie. L'écorce en est habituellement le principal élément.
Raffineur conique Jordan	Raffineur de forme conique servant à couper et à hydrater la pâte.
Pâte kraft	Pâte produite par le procédé au sulfate (voir la description des procédés de fabrication de la pâte de la section 5.3). Également appelée pâte au sulfate.
Rouleau principal ou rouleau porteur	Gros rouleau inférieur commandé de fonte coquille d'une lisse ou d'une supercalandre.

Coucheuse à racle	Coucheuse dotée d'une racle qui répartit et égalise la sauce de couchage déposée sur le papier.
Indice de permanganate	Essai chimique effectué sur la pulpe pour déterminer son degré de délignification.
Trieur de noeuds	Classe à grosses mailles utilisé pour éliminer de la pâte les noeuds et autres incuits de grandes dimensions.
Presse typographique	Procédé de typographie (du genre en relief) utilisant une encre de consistance relativement visqueuse.
Sens de fabrication ou sens machine	Sens dans lequel une feuille de papier a été fabriquée dans la machine; son abréviation est SM; une fabrication à angle droit est appelée "sens travers", son abréviation étant ST.
Papier séché sur machine	Papier ayant atteint la siccité habituellement obtenue lors de sa fabrication normale. Sa siccité caractéristique est d'environ 93 p. 100.
Apprêt sur machine	Apprêt habituel dont est enduit le papier fabriqué sur une machine dotée de sécheries conventionnelles (à différencier d'une sécherie monocylindrique).
Pâte commerciale	Produit en cellulose, comme la pâte kraft blanchie de résineux, vendu aux clients pour la fabrication machine.
Papier moyennement collé	Papier collé pour lui donner une résistance moyenne à l'absorption d'eau.
TMS	Temps moyen de survie: donne une mesure de la toxicité relative des échantillons d'effluent indiquant la capacité du poisson témoin, souvent des truites arc-en-ciel ou des saumons Coho, à survivre dans des échantillons d'effluent.
Mullen	Résistance à l'éclatement d'une feuille de papier ou sa résistance à la perforation.
GNC	Les gaz non condensables sont des gaz qui se dégagent en plusieurs endroits du procédé de fabrication de la pâte au sulfate et qui ne se condensent pas dans les dispositifs de condensation courants. Le STR ou le méthanol en sont les principaux éléments.
Zone de contact	Zone de contact entre deux rouleaux.
SCSN	Mi-chimique au sulfite neutre. Un procédé de fabrication de la pâte qui utilise un produit chimique alcalin tamponné de cuisson (pH 8-10) - sodium ou sulfite d'ammonium tamponné avec un hydroxyde ou un carbonate - pour obtenir une pâte à haut rendement à partir des feuillus.

Opacité	Degré de non-transparence du papier.
Séché au four (SF)	Pâte ou papier séché dans un four selon une méthode de laboratoire normalisée, jusqu'à ce qu'il ne renferme plus d'humidité. On se sert souvent du qualificatif anhydre comme synonyme. Dans la pratique courante, le poids du papier séché au four divisé par 0,9 équivaut au poids du papier séché à l'air.
Efficacité d'oxydation	Réduction en pourcentage du sulfite de sodium dans la liqueur noire qui est oxydée par soufflage d'air ou d'oxygène dans la liqueur, s'appliquant au procédé d'oxydation de la liqueur noire.
Dégagement de particules	S'applique en général à toutes les matières solides sortant d'une cheminée ou d'un conduit d'aération. Le flux de particules est défini particulièrement par la méthode d'essai normalisé décrite dans la section du Guide portant sur l'échantillonnage et la surveillance. Les dégagements de particules sont exprimés en mg/m^3 ou kg/h.
Résistance à l'arrachage	Capacité du papier à résister à la poussée de l'encre lors de l'impression.
Pigment	Substance minérale finement divisée qui est insoluble dans l'eau et utilisée pour colorer le papier.
Poix	La poix est une substance qui peut être extraite du bois par un solvant. Elle se compose en grande partie d'un mélange d'acides gras et résineux et de substances organiques insaponifiables et est surtout associée aux cellules des rayons du bois. Dans certaines conditions, elle s'accumule sur la toile métallique fourdrinier ou dans d'autres appareils, causant des problèmes de fonctionnement.
Plastifiant	Matière servant à rendre le papier plus pliable.
Électrofiltre	Appareil permettant de dépoussiérer les gaz en ionisant les poussières puis en les captant sur une grille par attraction électrostatique.
Meule de défibreur	Meule massive servant au défibrage mécanique du bois pour obtenir une pâte mécanique. Elle se compose d'un noyau en ciment armé et d'une couronne composée de grains abrasifs maintenus par une gangue.
Rouleau secondaire	Rouleau conventionnel d'une lisse située directement au-dessus du rouleau principal.
Rame	Habituellement 500 feuilles de papier; toutefois, la taille du papier varie selon l'utilisateur et le papier auquel cette mesure est appliquée.

Chaudière de récupération	Appareil servant à brûler la lessive de cuisson récupérée pour produire de la vapeur et retraiter les produits chimiques de cuisson. Voir la section 11.1.6.
Pâte mécanique raffinée	Expression utilisée de façon assez impropre pour désigner la pâte mécanique fabriquée dans un raffineur plutôt que dans un triturateur traditionnel. Voir la description de la fabrication de la pâte mécanique dans la section portant sur les procédés. Une autre expression assez souvent utilisée est pâte mécanique de raffineur (PMR).
Retrituration	Procédé pour réduire en bouillie et désintégrer le papier sec ou la pâte sèche.
PMR	Voir "Pâte mécanique raffinée".
Couchage par rouleau	Procédé utilisé sur ou hors machine pour enduire la surface du papier d'une sauce de couchage à l'aide d'un rouleau applicateur du caoutchouc sur lequel la sauce a été dosée.
Colle de résine ou colophane	Solution ou dispersion obtenue par le traitement à l'alcali d'une qualité appropriée de résine.
Ramasse-pâte	Appareil servant à récupérer les fibres et les charges dans les eaux blanches. Il se compose habituellement d'un tambour rotatif ou de disques entoilés. L'eau est aspirée sous vide à travers la toile. Aujourd'hui, les "toiles métalliques" sont habituellement faites de plastique. Il existe plusieurs autres types de ramasse-pâte fonctionnant selon le principe de la décantation ou de la flottation.
Atelier d'épuration	Expression usuelle désignant les étapes de tamisage et de nettoyage qui suivent habituellement le procédé de fabrication de la pâte.
Laveur de gaz	Appareil servant à éliminer certaines matières gazeuses ou solides d'un gaz à l'aide d'un jet de liquide, habituellement de l'eau ou une solution aqueuse de réactifs.
Bûchettes	Petit amas de fibres qui n'a pas été complètement séparé lors du défibrage.
Retrait	Terme désignant habituellement la perte de pâte lors du blanchiment en raison de l'élimination de lignine. Habituellement exprimé en pourcentage.
Colle	Substance ajoutée au papier pour rendre la feuille plus hydrofuge.
Presse encolleuse	Presse composée de deux rouleaux verticaux ou horizontaux placés entre deux batteries de cylindres sécheurs servant à déposer des adhésifs ou des émulsions spéciales sur la surface du papier et à en éliminer l'excès.

Disque coupeur	Organe de coupe qui permet de refendre une feuille de papier selon des largeurs particulières.
Filtre à boues	Appareil qui permet de concentrer les matières solides en suspension récupérées d'un effluent par un clarificateur.
Salin	Produit chimique inorganique sous forme de cendres fondues provenant de la chaudière de récupération.
Perte de soude	Perte de sels de sodium causée par le lavage incomplet de la pâte et la récupération insuffisante des composés de sodium dans le système de récupération chimique.
Liqueur de sulfite résiduaire	Produits chimiques et substances organiques résiduaires de cuisson éliminés du bois lors du procédé de fabrication de la pâte au sulfite. Souvent appelée "liqueur rouge" ou "lessive résiduaire au sulfite".
Rigidité	Mesure de la résistance du papier du pliage.
Pâte	Terme général désignant une suspension de fibres de pâte dans l'eau, habituellement en concentration allant de 0,2 p. 100 à 15 p. 100. Terme des fabricants de pâte désignant les matières engraissées, raffinées et mélangées (composition de fabrication) en suspension dans l'eau que l'on fournit à la machine à papier (également appelée "pâte travaillée après raffinage").
Traitement de la pâte	Terme décrivant les étapes qui se déroulent entre la trituration ou le blanchiment et la formation de la feuille sur la machine à papier, y compris le mélange de plusieurs pâtes, l'addition de couleurs, d'une charge et d'autres substances et produits chimiques.
Toxicité sublétale	Voir "Toxicité".
Caisse aspirante	Caisse étroite dont le couvercle est perforé et qui est fixée sous la toile métallique fourdrinier. Le vide que l'on maintient dans la caisse extrait l'eau d'une feuille en formation. Des caisses semblables mais beaucoup plus étroites servent également à extraire l'eau des feutres humides.
Pâte au sulfate	Terme désignant souvent la pâte kraft, notamment dans la documentation scandinave.
Sulfidité	Dans la liqueur blanche, pourcentage du rapport de sulfure de sodium sur l'addition de sulfure et d'hydroxyde de sodium, tous les composants étant exprimés sous forme d'oxyde de sodium.
Supercalandre	Appareil comportant des rouleaux en matériaux compressibles en alternance avec des rouleaux métalliques en vue d'obtenir un satinage poussé du papier.

Matières solides en suspension	Peuvent être définies comme la masse anhydre de matières qui peut être éliminée d'un échantillon d'un volume donné par filtration grâce à un papier filtre normalisé. Habituellement exprimé en mg/l.
Cylindre refroidisseur	Cylindre creux placé en bout de sécherie et à l'intérieur duquel circule de l'eau froide pour refroidir la feuille et l'humidifier par voie de condensation pour redonner de l'humidité à la feuille de papier asséchée.
Rouleau à bombé variable ou rouleau flottant	Nom commercial d'un rouleau à bombé variable non déflecteur, composé d'une enveloppe tournant autour d'un arbre fixe. La pression d'huile à l'intérieur de l'enveloppe compense la charge. Il remplace habituellement le rouleau principal sur les lisses mais peut servir à tout endroit des presses.
t	Abréviation de "tonne". Le présent guide l'utilise pour désigner la tonne métrique de 1000 kg, soit 2205 lb. Il est essentiel de définir la teneur en eau de la matière (voir "sèche à l'air", "sèche au four" et "sèche à la machine" dans le présent glossaire), lorsque l'on cite des données précises concernant les tonnes de pâte, de papier ou de bois. La plupart des données du présent manuel renvoient à des écarts caractéristiques ou sont approximatives, de sorte que la distinction est théorique et souvent laissée de côté pour faciliter la lecture. La production de pâte au sulfate utilise plus souvent le terme "tonne de pâte séchée à l'air" tandis que l'expression "tonne séchée à la machine" est plus répandue pour la production du papier journal. L'expression "tonnes anhydres" est utilisée invariablement lors des calculs détaillés concernant les procédés.
Pontuseaux	Rouleaux servant à soutenir la toile et à éliminer l'eau de la feuille.
Plaque de raffinage	Garniture métallique des disques de raffineur formée de segments dont la surface présente des rainures. (Souvent appelé "plateaux de raffinage" dans les raffineurs à disques.)
Résistance à la déchirure	Force nécessaire pour déchirer un échantillon de papier dans des conditions données.
Résistance à la rupture par traction	Résistance à la rupture d'un papier lorsqu'il est soumis à une force de traction.
Toxicité	Dans ce manuel, ainsi que dans la plupart des exposés traitant des effluents de l'industrie des pâtes et papiers au Canada, "toxicité" signifie toxicité létale aiguë pour le poisson, telle que la définit le rapport EPS 1-WP-81-1. Cet essai mesure le taux de mortalité d'un échantillon d'au moins 5 poissons pendant une période de 96 heures. "Toxicité sublétale" désigne un effet indésirable d'un effluent sur le poisson qui n'est pas fatal (p. ex., arrêt de la productivité ou de la reproduction).

STR	Soufre total réduit. Terme général désignant l'anhydride sulfurique dégagé par le procédé de fabrication de la pâte au sulfate, à l'exclusion du dioxyde et du trioxyde de soufre. Comprend habituellement le sulfure d'hydrogène, le diméthylsulfure, le diméthyldisulfure et le méthylmercaptan. Ces gaz sont la principale cause de l'odeur caractéristique d'une usine de fabrication de pâte au sulfate. Ils sont engendrés par la réaction du sulfure de sodium avec certains des composants du bois. Le STR est habituellement exprimé en soufre élémentaire.
Double toile	Appareil constitué de deux toiles en convergence entre lesquelles le jet de pâte en provenance de la caisse d'arrivée est injecté pour former la feuille de papier, l'eau étant éliminée par son passage à travers deux toiles, ce qui permet d'obtenir une feuille à faces moins dissemblables.
Feuille à faces dissemblables	Expression décrivant une feuille de papier dont la texture, la couleur et le roulage diffèrent d'un côté à l'autre. Le côté toile peut avoir une texture plus uniforme ou une couleur plus pâle en raison d'une plus grande réflectance.
Papier sans colle	Feuille dénuée de toute colle qui a une faible résistance à l'eau.
Liqueur diluée	Liqueur récupérée du lessivage de la boue de chaux.
Bande de papier	Expression désignant la pleine largeur d'une feuille de papier en formation, au pressage, au séchage, à la finition ou au façonnage.
Résistance au frottement	Capacité qu'a le couchage du papier de supporter l'action combinée de ramollissement et de frottement d'une solution d'encrier et du blanchet.
Résine pour la résistance du papier à l'état humide	Additif synthétique servant à donner de la force à du papier humide.
Agent mouillant	Agent qui réduit la tension superficielle en améliorant la mouillabilité d'une surface solide, par l'application d'un liquide ou d'une solution.
Lessive blanche	Liquide du procédé de fabrication de la pâte au sulfate se composant des produits chimiques utilisés dans le lessiveur pour cuire les copeaux de bois. Il se compose principalement de sulfure de sodium et d'hydroxyde de sodium en solution aqueuse.
Eau blanche	Abrégé par e.a., expression générale désignant les eaux éliminées d'une suspension de pâte ou contenant une petite quantité de fibres ou d'additifs. Sur une machine à papier, c'est l'excès d'eau de la composition de la pâte s'écoulant à travers la toile. L'utilisation de l'expression "eau blanche" signifie habituellement une faible teneur en matières solides dissoutes. Elle est toujours blanche lors de la production de papier blanc, mais elle peut être colorée si elle contient des pigments (fabrication de papier de couleur).